

Das gesetz der wüstenbildung in gegenwart und vorzeit

Johannes Walther

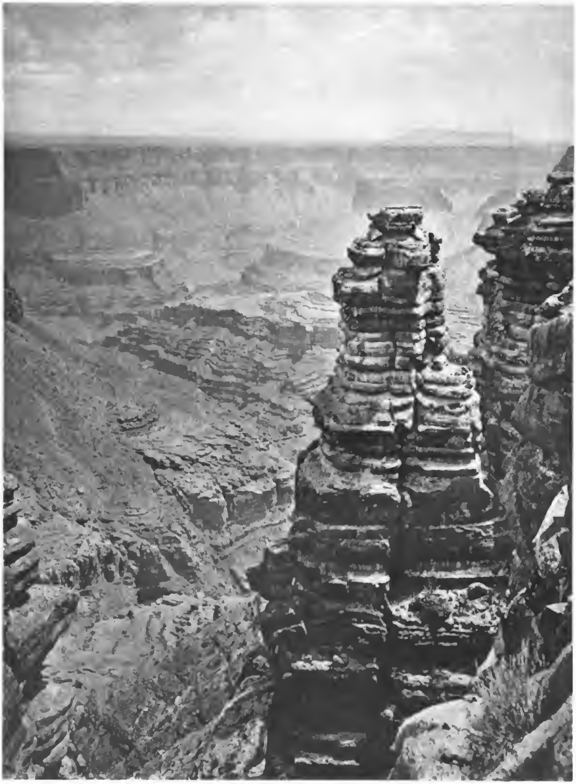

ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN

DAS

GESETZ DER WÜSTENBILDUNG

VON

JOHANNES WALTHER.



1. Amphitheater am Rande des Colorado-Cañon.

DAS
GESETZ DER WÜSTENBILDUNG

IN

GEGENWART UND VORZEIT

VON

JOHANNES WALTHER
AO. PROFESSOR DER GEOLOGIE UND PALAEONTOLOGIE.

HERAUSGEGEBEN MIT UNTERSTÜTZUNG
DER KÖNIGL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN ZU BERLIN.

BERLIN 1900
DIETRICH REIMER (ERNST VOHSEN).

GEORG SCHWEINFURTH

IN HERZLICHER VEREHRUNG UND DANKBARER ERINNERUNG
AN UNSERE GEMEINSAME REISE DURCH DIE ÄGYPTISCHE WÜSTE
GEWIDMET.

VORWORT.

Die Gestaltung der Erdoberfläche wird durch abtragende und aufbauende Kräfte beständig verändert und auch das Wüstengelände ist der Schauplatz dieser beiden, einander entgegenarbeitenden Vorgänge. Berge und Felsen werden eingeebnet, Thäler und Mulden werden ausgefüllt, und überall wandeln sich dabei die Formen des Landschaftsbildes. Die malerischen Felsenwüsten Ägyptens zeigen so deutliche Spuren der Verwitterung und Abtragung, dass ich meine dort angestellten Beobachtungen über die »Denudation in der Wüste« in einem gleichnamigen Buche schildern konnte.

Es war naturgemäss, dass ich auf meinen späteren Wüstenreisen den Ablagerungsprozessen erhöhte Aufmerksamkeit zuwandte und die denudierenden Vorgänge bis dahin verfolgte, wo das abgetragene Gesteinsmaterial wieder zu Ruhe kam. Langjährige Beschäftigung mit diesen Fragen verschob aber gleichzeitig meine Gesamtauffassung, und das Wüstenproblem erweiterte sich zu dem Problem der abflusslosen Gebiete. Nicht jede Wüste ist abflusslos, und nicht jedes abflusslose Gebiet ist eine Wüste. Und doch hängen beide Erscheinungen so eng zusammen, dass ich es als meine vornehmste Aufgabe betrachte, in den folgenden Abschnitten die Wechselwirkung dieser klimatischen Bedingungen zu erläutern und ihre geologische Bedeutung zu untersuchen. Wo es gilt, das Gesetzmässige herauszuheben, da muss manche Abänderung und manche Uebergangsbildung zurücktreten; das mag erklären, warum ich oftmals nur die Regel und nicht auch ihre Ausnahmen beschreibe.

Ich schulde Herrn Verlagsbuchhändler E. Vohsen grossen Dank, dass er bereit war, das Ergebnis dieser Studien in seinen Verlag zu nehmen, und dass er allen meinen Wünschen gern entgegenkam. Die Königliche Akademie der Wissenschaften zu Berlin hat durch eine namhafte Unterstützung die Herausgabe dieses Buches wesentlich gefördert, und es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle meinem ehrerbietigsten Danke hierfür Ausdruck zu geben.

JENA, im November 1900.

Der Verfasser.

Inhalt der Abschnitte.

Verzeichnis der Abbildungen.

DAS

GESETZ DER WÜSTENBILDUNG.

1. Meeresgrund und Wüstenboden.

Die blauen Fluten des Weltmeeres und die gelbbraune Fläche der wasserlosen Wüste zeigen trotz ihres gegensätzlichen Charakters doch landschaftlich so viele Aehnlichkeiten, dass man es wohl verstehen kann, wie der Seereisende von einer „Wasserwüste" spricht und der Wüstenreisende vom Rücken des „Schiffs der Wüste" den Eindruck eines trockenen Meeres gewinnen kann. Die weite glatte Ebene der Hamada, der flachgewellte Sserirboden, die salzreichen Seen, die weite Verbreitung des Sandes — alles erinnert an ähnliche Erscheinungen am Ufer des Ozeans, und so ist es gekommen, dass selbst die wissenschaftliche Erklärung der Wüstenerscheinungen zuerst an marine Verhältnisse anknüpfte. Das Saharameer gehörte zu den beliebtesten Theorien älterer Geologen, das aralocaspische Meer spielt bis in die neueste Zeit eine bedeutende Rolle bei der Erklärung des Reliefs von Turkestan, das Meer der Gobi soll nach einem vielgelesenen Buche sogar die Sintflut veranlasst haben, und aus Amerika und Australien berichteten die Reisenden von ebenso „deutlichen" Spuren eines Meeres innerhalb der trockensten Wüstenländer.

Es lässt sich nicht leugnen, dass bei oberflächlicher Betrachtung eine Menge von Aehnlichkeiten zwischen Meer und Wüste bestehen. Salzreiches Wasser erfüllt das Becken des Ozeans, und unter der weiten Wasserebene erstreckt sich fast horizontal der Meeresgrund. Ein Kranz von gelben Dünen säumt das Gestade, und wo die Meeresbrandung den Fuss einer felsigen Küste erreicht, da zeugen riesige Trümmerhalden und tief ausgenagte Felsen von der zerstörenden Kraft der Wellen.

Salzreich sind auch viele Wüsten; Salzseen, Salzsümpfe und salzige Quellen sind weit verbreitet; aber während die chemische Zusammensetzung des Meerwassers vom Pol bis zum Aequator und vom Strand bis zur Tiefsee annähernd überall dieselben Elemente zeigt, ist das Wüstensalz qualitativ von überaus wechselnder Beschaffenheit. Salze, wie Glaubersalz, Borax, Natron, welche im Seewasser nur eine geringe Rolle spielen, charakterisieren den Salzgehalt von Wüstenseen, fast jeder See hat eine andere Zusammensetzung und eine andere Konzentration, und grosse Wüstenstrecken sind dagegen wieder so salzarm,

dass die Beduinen weite Reisen unternehmen, um das nötige Nahrungssalz zu erhalten.

Wüstensalz und Meeressalz sind also nach Zusammensetzung und Verbreitung grundverschieden, und die einheitliche Zusammensetzung des Meerwassers lässt sich nicht vergleichen mit der seltsamen Differenzierung und Verteilung leichtlöslicher Verbindungen im Wüstengelände.

Wenden wir uns jetzt zur Horizontalität des Meeresgrundes und des Wüstenbodens, so bestehen auch hier trotz vieler Aehnlichkeit doch tiefgreifende Unterschiede. Die Beschaffenheit des Meeresgrundes ist durch zahllose Lotungen genau bekannt, und seine Oberfläche wird gebildet durch Sedimente von meist schlammartiger Konsistenz. Wenn auch die abtragende, zerstörende Wirkung der Brandung auf die Felsen oberhalb des Wasserspiegels und innerhalb der Brandungszone überaus mächtig ist, so sind doch Ablagerungsvorgänge am Grunde des Meeres charakteristisch. Abgesehen von der durch chemischen Niederschlag erfolgenden Bildung von harten Konkretionen und Steinkrusten oder von organisch gewachsenen festen Korallenklippen, ist meist der Meeresboden mit weichen, horizontal geschichteten Decken von Schlamm verhüllt, in welchem die Lotröhre oft fusstief einsinkt. Die horizontalen Flächen in der Wüste werden dagegen entweder von anstehendem Gestein gebildet, wie die Ebene der Hamada, oder von denudierten Klippen, die nur durch eine dünne Decke von Sserir-Kies verhüllt werden. Wenn aber Ablagerungsvorgänge das horizontale Wüstenrelief gestalten, dann sind es grobe Kieslager, riesige Schuttmassen, Konglomerate und grobe Sande, die in den Wannen des Wüstenlandes zur Ablagerung kamen.

Der Meeresstrand wird oft gesäumt von hohen Sanddünen, die in parallelen Ketten meilenweit dahinziehen, und Sanddünen sind innerhalb mancher Wüsten ebenso häufig. Aber auch hier besteht nur eine äussere Aehnlichkeit. Der reine Dünensand der Meeresküste findet sich nicht unterhalb des Wasserspiegels, und in wenigen Metern Tiefe ist dem Sand schon so viel Schlamm beigemengt, dass selbst ein ungeübtes Auge sofort den Unterschied beider Sedimente erkennen kann. Die Sanddünen der Wüste zeigen solchen Facieswechsel nicht. Zweihundert Kilometer breite Zonen sind überall von demselben Flugsand bedeckt, und was am Meere einen schmalen Küstensaum bildet, gestaltet sich in der Wüste zur weiten Sandfläche. Dazu kommt noch der verschiedene paläontologische Charakter. Der Sand am Meeresufer enthält fast immer die Ueberreste von Meerestieren, während der Wüstensand nur mit den Kriechspuren festländischer Organismen bedeckt ist oder Ueberreste von Landpflanzen umschliesst. Den Ozean kann nur derjenige leblos nennen, der die reiche Pflanzen- und Tierwelt des Meeresgrundes nicht kennt, und dessen Auge nicht geübt ist, die wasserhellen Bewohner der klaren Wogen zu sehen. Die Leblosigkeit der Wüste findet dagegen ihren sprechenden Ausdruck in der Seltenheit von organischen Resten innerhalb der dort gebildeten Ablagerungen.

Am schwierigsten ist es für das ungeschulte Auge, den Unterschied zwischen den zerfressenen Felsen einer Meeresküste und den vielfach angebohrten, zersägten und zertrümmerten Felsbildungen innerhalb der Wüste zu erkennen. Aber die weite Verbreitung von Sandschliff, die seltsamen Pilzfelsen, Säulengänge und Hohlblöcke, die dem Wüstenreisenden überall begegnen, dulden keinen exakten Vergleich mit den Klippen einer Küste, und so ist auch hier nur eine gewisse äussere Aehnlichkeit vorhanden.

Wenn ich dennoch hier eine Parallele zwischen Meeresgrund und Wüstenboden ziehe, so sind es ganz andere Gründe, die mich dazu veranlassen: Gründe geologischer und geographischer Natur, und eine Uebereinstimmung in den grossen lithogenetischen Vorgängen.

Obwohl es selbstverständlich erscheint, dass die Mehrzahl der Erdschichten als Meeresabsätze entstanden sind, so ist es doch eine Frage von weittragendster Bedeutung, warum in den Schichten der Erdrinde gerade die marinen Gesteine so überwiegen? Eine Fülle von gesteinsbildenden Vorgängen sehen wir überall auf den Festländern im Gange. Regenwasser löst Mineralien auf oder zersetzt feste Gesteine; Bäche und Ströme, Gletscher und Meereswogen verfrachten das verwitterte Material, und endlich gelangt all das Gelöste und das mechanisch Transportierte in das grosse Sammelbecken des Ozeans. So lange es noch dem Festlande angehörte, war es einem ununterbrochenen Wandel und Wandern unterworfen, immer aufs neue wurde es davongetragen und verfrachtet. Hat sich aber erst der Strom ins Meer ergossen, dann kommen alle die lithogenetischen Vorgänge zu Ruhe. In dem grossen Sammelbecken, aus dem es keinen Ausweg giebt, wird jedes Sandkorn, jedes gelöste Teilchen endlich gebunden. Nur durch eine Hebung des Meeresbodens oder durch ein Sinken des Wasserspiegels können die Meeresabsätze wieder an das Tageslicht kommen und sind inzwischen zu festem Gestein geworden, mit dem die Verwitterung ihr altes ruheloses Spiel beginnt.

Und in diesem Punkte stimmt jedes Wüstenland mit dem Meeresgrund überein. Es ist die Aufgabe der folgenden Abschnitte, zu zeigen, wie auch jedes Wüstengebiet lithogenetisch einem Meeresbecken äquivalent ist, denn die Wüste ist abflusslos, und kein Fluss, kein Gletscher, keine Meeresströmung vermag die Grenze der Wüste zu überschreiten und irgend einen Kiesel aus der Wüste herauszutragen. Nur trockene Partikelchen von Staub- oder Sandkorngrösse können windgetragen den Bannkreis der Wüste überschreiten; und dass Sandkörner keineswegs häufig diese Auswanderung unternehmen, beweist die weite Verbreitung der Sanddünen gerade innerhalb aller Wüsten. So sind also nur staubartige Teilchen leicht genug, um vom Wind aus der Wüste entführt zu werden, und die staublose Oberfläche des Wüstenbodens findet darin ihre einfache Erklärung.

Wir haben zu zeigen, wie intensiv die Verwitterung in der Wüste an den Bergen arbeitet, grosse Felsen zersprengt und alle Gesteine ohne Ausnahme

zerkleinert. Diese riesigen Schuttmassen, diese ungeheuren Schottergebilde müssen notwendig innerhalb der Wüste zur Ablagerung kommen, und so entstehen klastische Gesteine von einer Mächtigkeit, die die grössten marinen Deltakegel weit übertreffen und zugleich über weite Flächen regional ausgebreitet, ja sogar wohlgeschichtet erscheinen. Riesige Felsenwannen, bald hoch über dem Meeresspiegel, bald tief unter dem Meeresniveau füllen sich mit klastischen Ablagerungen, dauernde oder periodische Flüsse, ja oftmals nur vorübergehende Wolkenbrüche wälzen ihre schlammigen Fluten nach den Depressionen, breiten ihren Gesteinsbrei über weite Flächen aus und bilden eine Schuttdecke über der andern, bis endlich nur vereinzelte zackige Bergspitzen aus diesem „trockenen Meere" herausragen. Wandernde Dünengebiete überschreiten ohne Mühe die ebenen Schuttschichten, bilden darauf Sandsteinablagerungen von 100 m Mächtigkeit, und wo die schwachen Lösungen chemisch gelöster Mineralien unter dem Einfluss der Wüstensonne verdampfen, da bilden sich Salzlager, chemisch abgeschiedene Kalk- oder Gypsstöcke. Und die eigentliche Ursache aller dieser befremdenden Prozesse ist die Abflusslosigkeit der Wüstenländer, die es nicht gestattet, dass irgend ein Tropfen Salzlösung oder ein kleiner gerundeter Kiesel die Grenzen der Wüste überschreiten kann.

Aber während die Wasserscheide, die das Wüstengebiet wie eine Mauer umgiebt und scharf an den benachbarten, dem Ozean tributären Ländern abgrenzt, für alle diese lithogenetischen Vorgänge eine scharfe, unübersteigliche Grenze bildet und solange bilden muss, als die Gegend abflusslos ist, kann sich diese Scheide im Laufe der Erdgeschichte ebenso verschieben, wie die Grenzen des Meeres wandelbar sind. Hier sind es hydrostatische Gründe, die bald das Meer oscillierend, bald transgredierend bewegen — in der Wüste sind es klimatische Vorgänge innerhalb der Atmosphäre, oder geringe topographische Verschiebungen, welche die Grenze eines abflusslosen Gebietes wandeln.

Das Problem des Klimawechsels ist durch die Flora des Tertiärs und die neueren Untersuchungen über das Diluvium dem Geologen vertraut und selbst den Laien bekannt geworden. Deshalb ist die Vorstellung, dass auch die klimatischen Grenzen der Wüsten im Laufe der Erdgeschichte wandelbar waren, keineswegs befremdend, und die geographische Forschung hat an manchen Wüsten zeigen können, dass sich ihre Grenzen sogar in historischer Zeit verschoben haben. Man hat aus solchen lokalen Erscheinungen auf eine Klimaveränderung des ganzen Wüstengebietes geschlossen, obwohl es sich nur um eine Verschiebung der Wüstengrenzen handelte, die den Charakter der Wüstenzone selbst nicht beeinflusste.

Und so ergiebt sich die Vorstellung, dass die Wüstengebiete, umgeben von ebenso festen Grenzen wie der Ozean, auch wie dieser im Laufe der geologischen Vergangenheit ihre Lage auf der Erdoberfläche verschoben haben, dass eine Wüste mit allen ihren lithologischen Begleiterscheinungen oscillieren und transgredieren kann; dass weite dränierte Länderstrecken von

dem Wüstenklima überschritten werden, dass riesige Schutt- und Sandmassen zur Ablagerung kommen, dass Salzlösungen eingedampft werden und umhüllt von zähen Wüstenthonen so wasserdicht der Erdrinde aufgelagert werden, dass selbst ein darüber hinwegschreitendes Meer die Salzlager nicht wieder aufzulösen vermag.

Schon längst haben die Geologen erkannt, dass neben den zweifellos marinen Gesteinen und den vulkanischen Felsarten, weitverbreitete fossilleere, nicht vulkanische Ablagerungen in der Erdrinde eine grosse Rolle spielen, obwohl ihre Entstehung keineswegs leicht zu verstehen ist. Solche Gesteine sind geschichtet oder massig, klastisch oder vollkrystallinisch, treten bald in Stöcken, bald in dünngeschichteten Lagen auf und haben eigentlich nur einen gemeinsamen Charakter: den Mangel an marinen Fossilien. Konglomerate, moränenartige Schuttmassen, mächtige Sandsteine, Thone und Mergel von bunten Farben, blendendweisse Salzlager und Gypsstöcke wechsellagern zwar mit marinen Schichten, unterscheiden sich aber von diesen durch den Mangel aller marinen Ueberreste. Dünnschalige Mollusken, die zwar sehr individuenreich, aber dafür um so artenärmer in solchen Gesteinen gefunden werden, sprechen für Süsswasserbewohner, die oft ausgezeichnete Schichtung erinnert an Meeresgebilde, und die Knochen landbewohnender Tiere sowie pflanzliche Ueberreste beweisen die Nähe des Landes. So hat man sich gewöhnt, solche Gesteine als „Strandgebilde" oder als die Absätze von „Binnenseen" zu bezeichnen, und beide Begriffe lassen sich wohl rechtfertigen, obwohl damit noch nicht alle Thatsachen erklärt werden können. Dazu kommt aber noch ein anderer, überaus bemerkenswerter Charakter vieler dieser klastischen Ablagerungen.

Als Cuvier die Ablagerungen des Pariser Beckens studierte und zwischen marinen Schichten voll von Meeresmuscheln: Gyps, Mergel und Sandsteine ohne marine Reste, aber erfüllt mit den Knochen landbewohnender Säugetiere fand, bildete sich in ihm die Vorstellung von grossen geologischen Katastrophen, die in wiederholtem Wechsel Land und Meer gegeneinander ausgetauscht hätten. Die Cuvier'sche Katastrophentheorie fand um so weitere Verbreitung, als man auch anderswo ähnliche paläontologische Kontraste in den Schichten der Erdrinde wiederfand, und weil manche weitverbreitete Konglomerate und grobklastische Ablagerungen auf plötzliche verheerende Ueberschwemmungen, riesige Wasserfluten und lebenvernichtende Kataklysmen schliessen liessen.

Nach dem Vorgang von Cuvier wurde es Mode, mit gewaltsamen Katastrophen eine grosse Reihe von Erscheinungen zu erklären. Im Jahre 1828 erfand Brogniart die »Geröllflut« zur Erklärung der diluvialen Moränen, Sefström erweiterte den Gedanken, indem er die petrodilaunische Flut von Skandinavien bis nach Sachsen strömen liess, man rechnete[1]) sogar aus, dass bei der gewaltsamen Alpenhebung die erratischen Blöcke mit einer Geschwindigkeit von 175 Fuss

[1]) Neues Jahrbuch für Mineralogie. 1830. S. 346.

pro Sekunde transportiert worden seien, da sie ihre Ecken und Kanten vielfach nicht verloren haben. Diesen wilden Revolutionen setzte Ch. Lyell den Gedanken allmählicher, langsamer Entwicklung gegenüber und zeigte, wie in langen Zeiträumen ohne gewaltsame Katastrophen eine grosse zerstörende und aufbauende Wirkung von den Naturkräften ausgeübt werden könne. Man kann es wohl verstehen, dass dieser einfache und naheliegende Gedanke sich rasch einbürgerte und zum Gemeingut naturwissenschaftlicher Betrachtung wurde. Die heute noch wirksamen Kräfte reichen völlig aus, um die Rätsel der Vergangenheit zu erklären, und die Beobachtung recenter Vorgänge wird zur Grundlage der theoretischen Erklärung fossiler Wirkungen.

Was Karl von Hoff auf Grund unvollständiger Beobachtung versuchte, das gelang Ch. Lyell, und so knüpft sich die ontologische Methode in erster Linie an seinen Namen. Die abtragende Thätigkeit des Süss- und Meerwassers, die aufbauenden Wirkungen der Vulkane und des Meeresgrundes, die zerstörenden und gesteinsbildenden Vorgänge des Eises sind heute so fest gegründet, dass man sich schon bei dem Gedanken beruhigte, alle recenten geologischen Vorgänge zu kennen.

Während frühere Geologen mit einem gewaltsamen Ruck die Alpen emporhoben, tiefe Thalrisse spalteten, riesige Blöcke über die Ebene warfen und die Kontinente auf- und abschaukeln liessen, als ob die Erde ein Gummiball wäre, tragen alle modernen geologischen Ansichten einen zahmen, ich möchte fast sagen, erdrückend langweiligen Charakter. Langsam und stetig höhlt der Tropfen den Stein, langsam nagen sich die Thäler in die Erdrinde, langsam schichten sich am Meeresgrund die Gesteine übereinander, allmählich baut sich ein Vulkan auf und im Laufe langer Zeiträume wird er denudiert. Mit stetem Schritt wandert die marine Abrasion über ein Land hinweg, und kaum merkbare Variationen der Tierwelt wandeln sich im Laufe von Aeonen zu neuen Arten und Gattungen. Die ganze Erdgeschichte erscheint so, wie ein langer, unendlich langer Traum, und die geologischen Zeiträume verlängern sich über alle Vorstellung hinaus.

So sehr ich von der Länge geologischer Zeiträume überzeugt bin, und so sehr ich an die langsam wirkenden, stetigen Kräfte glaube, so meine ich doch, dass man aus der Lehre von den gewaltsamen Katastrophen heute in das andere Extrem verfallen ist, und dass man an einen ewigen Frieden in der Erdgeschichte glaubt, der nur ein schöner Traum sein kann. Betrachten wir ein einziges grösseres Profil, so sehen wir eine Menge lithologischer und paläontologischer Kontraste, die der langsamen Stetigkeit widersprechen. Auf marine Gesteine mit einer Fülle von marinen Fossilien folgen ganz unvermittelt mächtige Gyps- und Salzlager ohne eine Spur von Wassertieren, wohl aber mit Holz und den Knochen von Landtieren, dann sehen wir auf vulkanischen Gesteinen, in denen wir mit vollem Recht vergeblich nach Fossilien suchen, eine Ablagerung grober Konglomerate und Sandsteine, mehrere hundert Meter mächtig, mit Schichtung,

Trockenrissen und Wellenspuren, Regentropfen und Fährteneindrücken, aber ohne jedes Fossil. Wir wissen nicht, wo die Geröllflut ihren Ursprung nahm, Gletschertransport ist ausgeschlossen, und es erscheint uns völlig unverständlich, wie solche Gesteine gebildet werden konnten. Dieselbe Ablagerung verdünnt sich im Streichen mehr und mehr, keilt endlich zwischen marinen Schichten aus und erscheint hier mit marinen Fossilien als eine echte Strandbildung. Aber warum fehlen in den so mächtigen Aequivalenten alle Meeresüberreste?

Solche Beobachtungen drängen uns also die Vorstellung lokaler geologischer Katastrophen auf, die den ruhigen Gang der Erdgeschichte unterbrochen haben und lebenvernichtend oder lebenschaffend mit gewaltsamer Hand in die Schicksale der Organismenwelt eingriffen.

Aber wo finden wir solche recente Vorgänge von katastrophenartigem Charakter? Wo bilden sich mächtige Konglomerate ohne Fossilien? Wo kann ein Meer plötzlich weite Flächen überfluten? Wo kann eine 500 m mächtige Ablagerung gebildet werden, die in jedem Profil den Charakter einer Strandbildung zeigt? Wo kann durch natürliche Vorgänge die Tierwelt grosser Wasserbecken und riesiger Landstrecken plötzlich vernichtet werden? Unsere Antwort lautet: in den abflusslosen Wüstenregionen. So wird das Wüstenproblem eine erdgeschichtliche Frage von grundlegender Bedeutung. Das Studium des Wüstenklimas und der Wüstenerscheinungen wird eine notwendige Voraussetzung historisch geologischer Arbeiten; und es ergiebt sich daraus die Vorstellung, dass die langsame Entwicklung der Erde unterbrochen wurde von gewaltsamen Katastrophen, welche zwar niemals in dem regenreichen Klima der gemässigten Zone beobachtet werden können, die aber für die trockenen Wüsten charakteristisch erscheinen.

Wenn ein abflussloses Land durch Senkung der Erdrinde oder durch Ansteigen des Meeres unter das Meeresniveau gelangt ist, dann können lange Perioden vergehen, ohne dass es der Abrasion gelingt, die Depression zu erreichen. Hat das Meer aber erst einmal eine Bresche in die Wasserscheide der Depression gebrochen, dann ergiesst sich das Meer in einem einzigen Tage über viele hundert von Quadratmeilen. Die ganze Tierwelt des Landes wird vernichtet, die Gewalt des eindringenden Wassers zerstört auch alle mitgerissenen nektonischen Meertiere, und auf dem »Bonebed« lagern sich dann ruhig die marinen Schichten ab.[1])

Wenn dagegen in einem Wüstenlande einer jener seltenen Wolkenbrüche herniederstürzt, dann ergiessen sich riesige Massen von Geröll, von Sand und Schlamm in den ausgetrockneten Uadifurchen viele Meilen weit über das Land. Weite Flächen werden zu periodischen Seen, und jeder Schritt dieses vorübergehenden Seebodens war einen Moment „Strand“. Dann trocknet die heisse Wüstensonne den flachen Seespiegel ein, und indem er zusammen-

[1]) Vergl. E. Fraas, Die Bildung der germanischen Trias. Stuttgart 1899.

schrumpft, wird wiederum jeder Fussbreit des Seebodens zum „Strand". Dann wandern Dünen über die trockene Ebene, und nach Jahren wiederholt sich die sintflutartige Katastrophe, so dass hier allerdings „Strandgebilde" zu so verblüffender Mächtigkeit übereinandergeschichtet werden, wie sie ein Meeresstrand niemals bilden konnte. Wir brauchen keine Oscillationen oder Transgressionen des Meeres anzunehmen, sondern sehen innerhalb einer abflusslosen Region, abgeschnitten vom Ozean, klastische und chemisch gebildete Gesteine entstehen, die sich nur durch ihren Fossilmangel und ihre riesige Mächtigkeit von den echten marinen Bildungen unterscheiden.

Was ich in diesem Buche auseinandersetze, ist das Resultat fünfzehnjähriger Arbeiten und dreier Wüstenreisen. Veranlasst durch lithogenetische Studien über die germanische Trias und angeregt durch F. von Richthofens Untersuchungen über das Lössproblem, ging ich 1887 nach Aegypten, wo Georg Schweinfurth sich meiner annahm und mich zuerst mit den Wüstenerscheinungen vertraut machte. Was ich über die zerstörende Thätigkeit des Wüstenklimas damals beobachtete, das habe ich in meiner Denudation in der Wüste niedergelegt. Im Jahre 1891 reiste ich einige Wochen in den nordamerikanischen Wüsten, wurde durch Professor W. von Streeruwitz durch die Halbwüsten von Westtexas geleitet und fand dort trotz vieler Uebereinstimmung doch mancherlei Abweichung gegenüber meinen afrikanischen Erfahrungen. Die mit Konglomeraten ausgefüllten Wannen, die Salzseen von Utah und die Niveauschwankungen des Lake Bonneville führten mich dazu, die gesteinsbildenden Vorgänge mehr zu studieren, als ich dies in Aegypten gethan hatte, und meine 1897 unternommene Reise nach Transkaspien, wo Herr Hofrat C. Ahnger mein Führer ward, zeigte mir wieder ganz neue Vorgänge. So wurde ich zu einer wiederholten Nachprüfung meiner Anschauungen veranlasst, und indem ich jetzt das Resultat dieser Reisen und umfassender Litteraturstudien ziehe, muss ich manches in meinen bisherigen Publikationen[1]) Gesagte ergänzen, berichtigen und erweitern. Was für Nordafrika typisch erschien, trat mir in Amerika in anderer Gestalt entgegen, was hier grosse Wüstenregionen charakterisierte, wandelte sich in Asien in neue Formen.

Die Wüste ist das Land der geographischen Paradoxe, und es ist ebenso schwierig, sich ein unbefangenes Urteil über die wesentlichen Charaktere

[1]) Die Entstehung von Kantengeröllen in der Galalawüste. (Sitzungsber. d. math.-physik. Classe der K. S. Ges. der Wissensch. Leipzig, Nov. 1887.) L'apparition de la craie aux environs des pyramides. (Bull. de l'Inst. Egyptien de l'année 1887.) Ueber die Ergebnisse einer Forschungsreise auf der Sinaihalbinsel und in der arab. Wüste. (Verh. der Ges. f. Erdkunde, Berlin 1888, No. 6.) Die Denudation in der Wüste und ihre geolog. Bedeutung. (Abh. der K. Sächs. Ges. der Wissensch., Leipzig 1890, Bd. XVI, No. III.) Die nordamerikanischen Wüsten. (Verh. der Ges. f. Erdkunde, Berlin 1892, I.) Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1894. Geologische Studien in Transcaspien. (Bull. de la Soc. Imp. des Naturalists de Moscou 1897.) Vergleichende Wüstenstudien in Transcaspien und Buchara. (Verh. der Ges. für Erdkunde, Berlin 1898. No. 1.)

eines Wüstenlandes zu bilden, wie es schwierig erscheint, diese Auffassung in Worte zu kleiden. Regenwolken, die nicht nass machen, Quellen ohne Bäche, Flüsse ohne Ende, Seen ohne Abfluss, trockene Thäler, trockene Deltaanhäufungen, trockene Seen, wasserleere Depressionen die unter dem Meeresspiegel liegen, intensive Verwitterung ohne Verwitterungsrinde, Zersetzung der Felsen von innen nach aussen, Thäler die labyrinthisch verzweigt, bald bergab, bald bergauf leiten, riesige Kesselgruben, aus denen kein Thal hinausführt, Pflanzen ohne Blätter und Fische mit Lungen, diese und viele andere sonderbare Erscheinungen treten dem aufmerksamen Beobachter in den recenten Wüsten entgegen. Die Thalformen und Berggestalten weichen vielfach so sehr von den uns gewohnten Bildern ab, dass selbst eine Zeichnung bei dem Beschauer nicht den rechten Eindruck hinterlässt, der für eine kritische Betrachtung der hier behandelten Erscheinungen notwendig ist.

Nicht jeder hat Gelegenheit, eine Wüstenreise zu machen, und wer ohne Autopsie sich nach den gewöhnlichen topographischen Karten ein Bild des Wüstenreliefs machen will, wird durch die meisten Darstellungen geradezu irregeführt; denn der europäische Kartenzeichner überträgt unwillkürlich die ihm geläufigen Signaturen auf ein Gelände, das eine ganz eigenartige Technik verlangt.

Meines Erachtens können nur die neuerdings von D. Reimer herausgegebenen Kartenblätter[1]) G. Schweinfurths Anspruch darauf machen, ein korrektes Kartenbild des Wüstengeländes zu geben. Diese Blätter sind in allen Einzelheiten der Natur so abgelauscht und fast aus der Vogelschau gezeichnet, dass ich meinen Text als eine Erläuterung jener Karten bezeichnen könnte. Zur Ergänzung werden die diesem Werke beigegebenen Photographien dienen, die ich im Laufe langer Jahre auf meinen Reisen gesammelt oder durch die Güte befreundeter Reisender erhalten habe.

Mein Ziel ist es hier, nur das Gesetzmässige an den geologischen Vorgängen in der Wüste hervorzuheben und die einzelne Erscheinung unter grössere Gesichtspunkte zu ordnen. So hoffe ich am besten meiner zweifachen Aufgabe gerecht zu werden: einerseits ein charakteristisches Gemälde der Wüste zu entwerfen, und auf der anderen Seite die erdgeschichtliche Bedeutung der Wüstenbildung nach den Grundsätzen der ontologischen Methode zu erklären.

Allen denen aber, die mich im Laufe dieser Jahre auf meinen Reisen geführt und begleitet oder in Diskussionen und Abhandlungen gefördert haben, möchte ich an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aussprechen. Besonders meinem hochverehrten Meister Georg Schweinfurth, der in dieser ganzen Zeit thatkräftigen Einfluss auf den Gang meiner Studien ausübte, und dem ich dieses Buch als Zeichen meiner Dankbarkeit widme.

[1]) G. Schweinfurth, Aufnahmen in der östlichen Wüste von Aegypten. Berlin 1899. D. Reimer. Lfg. I.

2. Die abflusslosen Gebiete.

Wenn wir versuchen, die unübersehbare Fülle der geologischen Vorgänge in der Gegenwart nach ihren Ursachen in grosse Gruppen einzuordnen, so tritt uns die Sonnenwärme als eine der wichtigsten Kraftquellen entgegen. Die geologische Wirkung des Regenwassers, der Flüsse und Ströme, des Gletschereises, des Windes, der Brandung, der Meeresströmungen ist wesentlich geknüpft an die Wärmestrahlen der Sonne. Der Kreislauf des Wassers von den verdunstenden Flächen des Meeres oder des Festlandes, durch die Wolken und Dunstmassen der Atmosphäre, bis zu den fallenden Niederschlägen erscheint als die direkte Folge der grösseren Menge von Wärme, die der Aequatorialgürtel gegenüber den polwärts gelegenen Regionen erhält. Und so lange es auf der Erdoberfläche Wasserflächen gab, auf welche die Sonne herabschien, so lange die wasserdampfreiche Luft unter den Taupunkt abgekühlt werden konnte und Regentropfen auf festes Land herabfielen, musste jene seltsame und wichtige Zirkulation des irdischen Wassers in beständigem Gange bleiben.

Ein Teil der atmosphärischen Niederschläge verdunstet, ein zweiter Teil versickert im Boden, der Ueberschuss fliesst dem Gesetz der Schwere folgend ab. Je grösser die Verdunstung ist, und je mehr Wasser im dürren Boden verschwindet, desto geringer wird die Abflussmenge. Und so giebt es überall auf der Erdoberfläche abflussarme und abflusslose Gebiete, die, von kleinerem oder grösserem Umfange, doch das Gemeinsame haben, dass sie nicht durch eine dauernde Wasserrinne mit dem Weltmeer in Beziehung stehen. Da Abflusslosigkeit durch drei ganz verschiedene Ursachen veranlasst werden kann: durch Regenarmut, Grösse der Verdunstung und Durchlässigkeit des Bodens, so kann in jedem Klima lokal ein abflussloses Gebiet auftreten.

In diesem Sinne sind abflusslos: manche durch Dolinen und Karrenfelder ausgezeichnete Plateaus der Kalkalpen. Abflusslos ist das Dünenland an manchen Küsten. Im Sande des Elbthals[1]) versiegen manche Bäche, die aus dem Lausitzer Granitgebiet herausströmen, während andere Thalrinnen nur nach besonders heftigen Regengüssen mit Wasser gefüllt erscheinen.

---

[1]) Beck und Hazard. Erl. der Sect. Dresden der K. Geol. Landesunters. von Sachsen. S. 5.

Ein abflussloser Streifen zieht sich nach Keilhack[1]) längs der baltischen Seenplatte durch Norddeutschland, doch auch hier ist die Abflusslosigkeit nur scheinbar, denn[2]) ein Grundwasserstrom entwässert den Höhenrücken vollständig und ersetzt die oberflächliche Abflussrinne.

Nur der Wüstengürtel beider Halbkugeln beansprucht ein höheres Interesse. Denn hier sind weite Landstrecken ohne jeden Abfluss nach dem Ozean. Der wesentlichste Charakter einer Wüste ist gerade die Abflusslosigkeit, und eine Reihe verschiedenartiger Ursachen bedingen diese Wirkung.

Zuerst: Die Regenarmut. Meteorologische Tabellen,[3]) die Herr Alfred Kaiser 3 Jahre hindurch in den Thalschluchten der Sinaihalbinsel geführt hat, geben ein interessantes Bild über die kärgliche Verteilung der Niederschläge, und aus manchen anderen Wüstengebieten[4]) liegen ähnliche Thatsachenreihen vor. Aber selbst wenn schwere Regenwolken bis an den Rand einer Wüste herangetrieben werden, so erreichen ihre Tropfen doch nur selten den heissen trockenen Boden, und die »regnenden Wolken, die nicht nassmachen«, gehören auch zu den paradoxen Erscheinungen des Wüstenklimas. Mehrmals habe ich es erlebt, dass eine grosse graue Wolke am Horizont aufstieg und regendrohend herankam. Schon zogen sich von ihrer Unterseite die langen Streifen herabstürzenden Wassers nieder und drohten die Reisenden zu durchnässen. Aber kein Tropfen erreichte die Erde, denn schon in einer Höhe von mehreren hundert Metern war das Regenwasser in der Wüstenluft wieder vollkommen verdampft. Daraus erklärt es sich auch, dass jene sanften weitverbreiteten Landregen, die in unserem Klima eine so massgebende Rolle spielen, in der Wüste selten sind, und dass in der Regel nur sehr hochgespannte atmosphärische Kräfte dort Regengüsse auslösen.

In treffender Weise zeigt Wheeler,[5]) wie die von den heissen Sandthälern der Mohave-Wüste ausstrahlende Hitze die darüber hinwegziehenden Wolken so lange wieder in Gas verwandelt, bis die Sättigung mit Feuchtigkeit einen sehr hohen Grad erreicht hat und bei der geringsten Temperaturerniedrigung, z. B. durch einen Windstoss, Massenausscheidung von Wolken stattfindet. Hierdurch entsteht Schatten über dem heissen Wüstenboden, die ausstrahlende Hitze lässt nach, die Verdichtung des Wassergases nimmt zu. Es tritt dann oft eine Gewitterschwüle auf, die unerträglich erscheint. Ist die untere Luftschicht sehr heiss, so fällt noch immer kein Regen, während die Dichte der Wolken von oben her zunimmt. Kohlschwarz hängt dann die Wolkenbank über der grell beleuchteten Landschaft und es entstehen Licht- und

---

[1]) Keilhack, Petermann's Geogr. Mitteil. 1891.

[2]) Keilhack, Zeitschrift für prakt. Geol. 1894. S. 38.

[3]) Manuskript. 1887—1890.

[4]) Tabellen der meteorologischen Station zu Askabad, aufgenommen von Hofrat Regan. 1892—1897.

[5]) Petermann's Geogr. Mitteil. 1876. S. 411.

Farbenkontraste, die als Vorbild für eine Darstellung der Sintflut dienen könnten. Werden wolkenbruchschwangere Wolken von der Seite beleuchtet, wenn die Sonne tief am westlichen Himmel steht, so wird das Licht, wie von einem Spiegel, von der unteren Wolkenfläche reflektiert. Nähern sich nun solche Wolkenbänke mit hoher Entladungstendenz einer auch nur mässig hohen Bergkette mit kühlerer Luft, so findet eine so energische Verdichtung zu flüssigem Wasser statt, dass letzteres nicht in Tropfen, sondern in ganzen Bächen herabfällt, wobei nach Wheeler oftmals ganze Stücke von Wolken mit herabgerissen werden.

Wenn man erwägt, welch seltsame Bedingungen zusammentreffen müssen, um einen solchen intensiven Wüstenregen zu erzeugen, und wie schwer diese Bedingungen gerade auf den Ebenen eintreten können, so wird die Regenarmut der Wüste einerseits und der Wolkenbruchcharakter dieser seltenen Regen auf der anderen Seite leicht erklärlich. Die kolossalen Wirkungen derartiger Regenstürze wollen wir später besprechen und hier nur die Schicksale des Wassers verfolgen.

Jahrelang hat es nicht geregnet, der nackte zerklüftete Felsen, der vom Wind ausgeblasene Kiesboden, lockerer Sand oder poröser Lehm bilden den Boden der Erde. Keine Vegetationsdecke schützt ihn, und die vereinzelten Pflanzen suchen mit langen Wurzeln nach der tief verborgenen Grundwasserschicht. Wenn beim Ausheben des Suezkanals 30 m lange Tamarixwurzeln gefunden wurden, so kann man daraus sehen, wie mächtig die ausgetrocknete Lage von wasserlosem Erdboden über dem Grundwasserspiegel ist, und auch verstehen, warum ein grosser Teil der Niederschläge rasch im Boden versickert. Eine amerikanische Expedition[1]) war im September 1872 mehrere Tage ohne Trinkwasser, weil an der Gardiner Range der dürre Boden die Niederschläge mehrerer Gewitterregen sofort verschlang und selbst durch Graben kein Wasser zu erreichen war.

Jedenfalls gehören schon sehr regenreiche Niederschläge dazu, wenn ein Teil derselben ablaufen soll. Im Jahre 1867 war Holland[2]) Zeuge eines solchen Wolkenbruchs, der im Uadi Solaf am Sinai ein Lager von 40 Beduinen mit allen ihren Heerden vernichtete. Der kochende brausende Wasserstrom erfüllte das ganze Thal, wälzte grosse Felsblöcke dahin und schleppte Palmstämme 60 km weit. Auf seinem Lauf aber versiegte das Wasser, und kein Tropfen vermochte die Küstenebene zu überschreiten. Ich erlebte im April 1887 in der südlichen Sinaihalbinsel einen heftigen Gewitterregen, dessen 20 cm hoch heranbrausendes Wasser schon nach wenigen Kilometern keine Spuren hinterlassen hatte. Der Regen trat nach Sonnenuntergang ein, und obwohl also eine Verdampfung des Wassers durch die Sonnenstrahlen nicht stattfinden

[1]) Giles. Peterm. Geogr. Mitt. 1873. S. 186.

[2]) Talmer. Der Schauplatz der 40jährigen Wüstenwanderung Israels. S. 118.

konnte, war am frühen Morgen doch alles Wasser verlaufen. Ueberaus interessant sind die von G. Schweinfurth[1]) gemachten Beobachtungen über einen Gewitterguss, der am 1. April 1895 aus dem Uadi Abu Schuscha durch die Strasse von Heluan sich ergoss. In dem nur 2 km langen Thaleinschnitt hatten sich solche Regenwasser gesammelt, dass sie, den ganzen Schutt der Uadigehänge in der Thalrinne mit sich führend, wie Bild 29 zeigt, mehrere Strassen von Heluan mit 2 m tiefen Schuttmassen erfüllten. Nachdem das schlammige Wasser 1 km weiter gelaufen war, bildete es hinter dem Eisenbahndamm einen weiten flachen See.

Langjährige Beobachtungen Schweinfurths ergeben, dass der Regen in der Wüste in vielen Fällen vollkommen versickert, und dass das Regenwasser nur dann abfliesst, wenn der Boden vorher sehr benässt war. Ein rascher, erster Regen, dem kein zweiter Regenguss folgt, versiegt daher immer an der beregneten Stelle.

Um wie viel rascher verzehrt sich die Wassermasse eines solchen Regens, wenn die verdunstende Wirkung der Sonne hinzutritt. Ueber die Verdunstungsgrösse der Gewässer in der Wüste haben Schmidt und Dohrandt[2]) am Aralsee durch schwimmende Evaporometer festgestellt, dass vom Oktober 1874 bis Oktober 1875 eine Schicht von 1278,7 mm süsses Flusswasser und eine Schicht von 1150 mm salzreiches Seewasser verdampften. Bei der grossen Verschiedenheit im Salzgehalt der Wüstenseen wird dieser Wert grossen Schwankungen unterliegen, aber immer ist er so bedeutend, dass man versteht, wie selbst grosse Wüstenflüsse während ihres Laufes immer wasserärmer werden.

Das regenarme Gebiet der Wüste wird gewöhnlich von einem Steppenrand umgeben, der mit seinen grösseren Niederschlägen und seiner geringeren Verdunstung den Uebergang zu den benachbarten regenreichen Klimagebieten bildet. Die hier entspringenden Wasserläufe werden durch die Form des Landes zum Teil von der Wüste weggeleitet, andere jedoch tragen ihre Wassermassen der Wüste zu. Zwei solcher Ströme in der Gegenwart sind wasserreich genug, um der Versickerung und Verdunstung zum Trotz die Wüste zu durchschneiden und das Weltmeer zu erreichen. Der Nil kommt aus dem regenreichen Sudan und den Gebirgen von Habesch. Bei Chartûm hat er noch eine Wassermenge von 25000 cbm, dann fliesst noch der Atbara hinein, und trotzdem beträgt seine Wassermenge bei Cairo nur noch 20000 cbm. Ein Drittel seines Wassers dürfte er auf diesem Weg durch Versickerung und Verdunstung verlieren.

Jede stärkere Quelle, die in Europa dem Erdboden entquillt, muss eine Strecke unterirdisch zurückgelegt haben, ehe so viel kleinere Wasseradern sich

[1]) G. Schweinfurth. Die Umgegend von Heluan als Beispiel der Wüstendenudation. Kartenblatt. D. Reimer.

[2]) Schmidt u. Dohrandt. Wassermenge und Suspensionsschlamm des Amudarja in seinem Unterlauf. Mem. Acad. Imp. St. Petersburg. VII S. XXV T. No. 3.

vereinigten, dass sie zusammen eine gewisse Stärke gewinnen. Diese unterirdischen Wasserläufe sind zwar von grosser Bedeutung für die Hydrographie eines jeden Landes, aber sie spielen in der Wasserversorgung eines wohldränierten Gebietes keine wesentliche Rolle, weil in der Regel eine genügende Anzahl oberirdischer Wasserläufe das Land durchfliessen. Aber bei allen unterirdischen Arbeiten, bei Bergwerksarbeiten, Tunnelbauten und Brunnenbohrungen treten diese unterirdischen Wasserläufe oft bedeutsam in die Erscheinung. Sie werden gespeist aus den feinen Haarspalten des Gesteins, sickern auf minimalen Klüften vertikal und horizontal weiter und sammeln sich überall, wo man unterirdische Hohlräume erzeugt.

Obwohl ein Wüstenland oberflächlich in der Regel keine dauernden Wasserläufe erkennen lässt, weil ein Ueberschuss von Niederschlägen über die verdunstenden Wassermengen nicht erreicht wird, so sind doch in grösseren Tiefen der Erdrinde dieselben Haarspalten und Klüfte auch in einem Wüstenlande vorhanden, und beträchtliche Wassermengen können einen weiten Weg unterirdisch zurücklegen. Ein System kommunizierender Spalten, Klüfte und Kanäle reicht von einem Ort zum andern, und es können sowohl oberirdische Gewässer in die Tiefe versinken, wie unterirdische Wassermassen gelegentlich zu Tage treten. Schon die Geographen des Altertums haben sich die Frage vorgelegt, ob nicht das Wasser der libyschen Oasen vom Nil stamme. Wenn auch der Nachweis von Thermalquellen in den meisten Oasen auf einen sehr tief liegenden vertikalen Ursprung hinweist, so machen doch andererseits gewisse geologische und biologische Beobachtungen wahrscheinlich, dass unter dem trockenen Wüstenboden überaus weitreichende Wasserverbindungen unterhalten werden.

Es spricht erstens dafür die seltsame Thatsache, dass der Fayumsee nahezu süsses Wasser hat, obwohl er aus der Verdampfung des alten Moeris-Sees entstand, und obwohl im zufliessenden Nilwasser eine Menge von Salzen enthalten sind, die sich im Laufe der Zeiten hätten anreichern müssen. G. Schweinfurth berechnet[1]), dass der Qurûn-See gegenwärtig eine Oberfläche von 250 Millionen Quadratmeter hat und eine Wassermenge von 1500 Millionen Kubikmeter fasst. Wenn wir annehmen, dass der See seit römischer Zeit dieselbe Wassermenge immer behalten und durch Verdunstung ebensoviel verloren hätte, wie ihm vom Nil zuströmte, so müsste innerhalb 1700 Jahren der Salzgehalt des Wassers auf 2,27 % gestiegen sein. Da aber sein Niveau früher nachweislich höher gestanden hat, so müsste sogar der Salzgehalt 8,53 % betragen. Die geringe Menge von Salzen in dem Wasser des Qurûn-Sees lässt sich also nur verstehen, wenn wir annehmen, dass ein grosser Teil des zuströmenden Nilwassers auf unterirdischen Spalten versank und der Wüste zuströmte.

---

[1]) On the Salt in the Wady Rayan, 1893.

Einen zweiten Beweis für die Bedeutung der unterirdischen Wasserläufe bildet die unterirdische Fauna von Fischen, Krebsen und Mollusken, welche beim Anbohren artesischer Brunnen in der algerischen Sahara wiederholt zu Tage gekommen ist. Alle diese Tiere leben in den algerischen Quellen und scheinen nur gelegentlich in unterirdische Kanäle zu geraten, denn sie zeigen keinerlei Anpassung an das Leben in lichtlosen Tiefen.

Ich habe vor einiger Zeit Bedenken[1]) geäussert gegen die von Sickenberger und Schweinfurth vertretene Ansicht, dass das Wasser in den aegyptischen Natronseen vom Nil stamme. Allein eingehende Beschäftigung mit den einschlägigen Verhältnissen und die mir von G. Schweinfurth mitgeteilte Thatsache, dass im April 1900 der tiefe Stand des Nilwassers, zwei Monate früher als gewöhnlich, auch ein Sinken des Wasserspiegels in den Natronseen bedingte, sodass die Natrongewinnung entsprechend früher begonnen werden konnte, hat mich von der Richtigkeit jener Ansicht überzeugt. So verlieren die einer Wüste zuströmenden Flüsse nicht allein durch Verdunstung, sondern zugleich durch unterirdische Sinkströme eine beträchtliche Menge von Wasser. Wenn dieses letztere nun auch gegen direkte Verdunstung geschützt ist, so saugt doch der trockene Wind, der alle Wüsten bestreicht, überall jede Spur von Feuchtigkeit aus dem Erdboden heraus, und indem das unterirdische Wasser emporsteigt, um diesen Wasserverlust zu ersetzen, gelangt es endlich doch noch unter den Einfluss der Verdunstung. Die Oberfläche der Wüstenebene bedeckt sich mit dem salzigen Verdunstungsrückstand und das Wasser verschwindet.

In seiner sehr bemerkenswerten Abhandlung über die chemischen Prozesse im Roten Meer hat Natterer[2]) sogar wahrscheinlich gemacht, dass die Küstenländer des erythräischen Grabens unter dem Einfluss der Insolation das Seewasser kapillar ins Land hineinsaugen. Die weite Verbreitung gyps- und salzhaltiger Böden auf allen Inseln des Roten Meeres, ebenso wie auf den Küstenländern, könnte sehr wohl mit diesem Vorgang zusammenhängen.

Im ganzen dürfte freilich durch diese Umstände die Hydrographie und der Salzgehalt einer küstenfernen Wüste nicht beeinflusst werden. Denn hier handelt es sich doch im wesentlichen um die Schicksale der Meteorwasser, die chemisch rein herabfallen, im Gestein geringe Spuren von Mineralien auflösen und dann diese schwachen Lösungen bis zu einem abflusslosen Sammelbecken tragen. Und dieser typische Fall lässt sich am besten im Gebiet des Caspi studieren.

Die Wolga hat eine Länge von 3200 km und ein Stromgebiet von $1\frac{1}{2}$ Million Quadratkilometer. Ihre Breite im Unterlauf erreicht 8 km, und diese ganze Wassermasse verdunstet im Caspisee. Trotzdem das riesige Strom-

[1]) Peterm. Geogr. Mitteilungen 1898. Literaturbericht Nr. 811.

[2]) Denkschriften der Mathem. Naturw. Classe der k. Akad. d. Wissensch. Wien 1898. Berichte der Commission für ozeanogr. Forschungen. IX. S. 78. Anm.

gebiet die waldbedeckten Ebenen Russlands und das regenreiche Uralgebirge umfasst und mit dem Wüstenklima keine Berührung hat, so ist doch der grössere Teil des europäischen Russlands dadurch dem Wüstengürtel angeschlossen, und gehört zu einem abflusslosen Gebiet.

Ebenso wie der heilige Strom der Russen zu einem abflusslosen Gebiet gehört, so fügen sich eine grosse Zahl anderer, bald grosser, bald kleiner Flussgebiete dem Wüstengürtel an, die, mit diesem eng verbunden, keinen Abfluss nach dem Weltmeere haben. Ein Teil dieser Gebiete deckt sich mit dem von Penk aufgestellten Begriff der »Wanne«, andere Regionen unterscheiden sich durch nichts von den wohldränierten Gegenden der Erde. Aber gemeinsam ist ihnen die Abflusslosigkeit, und daraus ergeben sich lithogenetisch sehr auffallende Charaktere.

Die abflusslosen Gebiete haben nicht nur keine dauernde Wasserverbindung mit dem Ozean, sondern sie schliessen alle lithogenetischen Vorgänge ab, die innerhalb derselben eingeleitet worden sind. Mag lösendes Wasser Minerallösungen erzeugen, mag physikalische Verwitterung die Felsen zertrümmern oder chemische Verwitterung ihren festen Verband lockern, mögen reissende Ströme, grosse Gletscher oder brandende Wellen und Strömungen das verwitterte Gesteinsmaterial transportieren, mögen Moränen oder Schotter, Deltahügel oder Schuttkegel, Salzseen oder vulkanische Berge entstehen — kein Stäubchen und kein Salzteilchen kann durch die angeführten Transportmittel dem Weltmeer zugeführt werden. Wäre nicht die Deflation wirksam, die Sandkörner und Lössstaub davontragen kann, so müssten alle Produkte physikalischer und chemischer Verwitterung innerhalb des abflusslosen Gebietes zu Ruhe kommen. Die Flusstrübe uralischer Bergströme, ebenso wie die Gletscherwasser des Kasbek und die Schneeschmelzwasser des Pamir, der Salzgehalt permischer Schichten von den Ufern der Kama und die vulkanischen Aschen des Ararat gelangen in eine Fallgrube, aus der es keinen Ausweg giebt, wenn nicht der Wind einzelne Stäubchen wieder hinaustragen würde.

Der Boden des Weltmeeres ist deshalb von so grosser geologischer Bedeutung, weil dort alle Transportwege ein Ende finden, die in der Firnmulde alpiner Gletscher, in der tiefen Erosionsschlucht reissender Bäche oder an den von der Brandung zerfressenen Felsen der Küste ihren Anfang genommen haben. Wenn wir uns fragen, warum die grosse Mehrzahl fossiler Gesteine marin ist, so liegt darin die einzige Antwort. Der Meeresboden ist das Grab des Verwitterungsschuttes, das Sammelbecken für die chemischen Lösungen, das grosse Schlusskapitel der Lithogenesis. Ein einziges grosses Weltmeer umspannt mit seinen Buchten und Nebenmeeren den Erdball, und aus seinem dunklen Schosse steigen, durch geologische Vorgänge gehoben, die Sedimente zum Tageslicht hervor, bestimmt und geordnet durch die Denkmünzen der Schöpfung, die unverweslichen Teile mariner Tiere. Und immer, soweit wir zurückbeobachten können, wogte ein einheitliches Weltmeer um die Erde.

Aber die Umstände, die den Meeresboden zu einem so wichtigen Schauplatz geologischer Vorgänge machen, die treffen Wort für Wort auch zu für die abflusslosen Gebiete des Festlandes.

Nach den Messungen von Bludau[1]) lässt sich folgende Uebersicht gewinnen:

Afrika	hat	eine	Fläche	von	29	Mill.	qkm,	davon	sind	abflusslos	4	Mill. qkm.
Asien	„	„	„	„	44	„	„	„	„	„	12	„ „
Amerika	„	„	„	„	41	„	„	„	„	„	1,3	„ „
Australien	„	„	„	„	7	„	„	„	„	„	7	„ „

Das gesamte Festland der Erde hat ein Areal von ungefähr 130 Millionen Quadratkilometer, von denen 24 Millionen abflusslos sind; 1/5 der gesamten Landoberfläche gehört also zu den abflusslosen Regionen. Wir brauchen nur in die Miocänzeit zurückzugehen, um nachweislich höhere Werte zu gewinnen, denn damals reichte der sarmatische Binnensee von Wien bis Taschkent und von Kleinasien bis Samara, und alle Flusssysteme des Schwarzen Meeres strömten einem abflusslosen Sammelbecken zu. Dort verdampften die Wasser der Donau, des Dniepr und des Don, und die Verwitterungsprodukte des Fichtelgebirges und der deutschen Alpen sammelten sich in einem Wüstenlande an. Wenn so das Wüstenklima seinen Einfluss auf weite Kontinentalflächen ausdehnt, wird es zu einer Pflicht, die Phänomene der Wüstenländer mehr, als bisher geschehen, bei geologischen Betrachtungen zu berücksichtigen.

Zwar verhüllen nicht Wasserschichten die weiten Flächen, aber die Schrecken der wasserlosen Wüste haben es lange Zeit verhindert, dass das Auge des Forschers ihre Bedeutung erkannte. Und doch ist in lithogenetischer Hinsicht eine Wüstenreise ebenso lehrreich, wie eine Tiefsee-Expedition; denn was uns hier nur sinnreich erdachte Apparate zu untersuchen gestatten, das liegt dort zu Tage, beschienen vom leuchtenden Glanze der Sonne. Wenn eine Wasserschicht von vielen hundert Metern nötig ist, um die lithogenetischen Prozesse am Meeresgrund zu einem Abschluss zu bringen, so wird in der Wüste dieselbe Wirkung erzeugt durch den Mangel des Wassers.

Ein abflussloses Gebiet ist erdgeschichtlich nur zu vergleichen mit einem Meeresboden. Hier wie dort entstehen dieselben Wirkungen: Berge werden eingeebnet, und tiefe Thalkessel füllen sich bis zum Rande mit klastischen und chemischen Sedimenten. Ebenflächig und ungegliedert wie der Meeresgrund erstreckt sich die weite Wüste, und wenn der Reisende die leblose Wildnis durchmisst, dann glaubt er auf dem ausgetrockneten Boden eines Meeres zu reiten, obwohl es doch nur ein Meer ohne Wasser ist, dessen Landschaftscharakter durch das jetzt dort herrschende wasserarme Klima bedingt wird.

In prächtigen Profilen aufgeschlossen, sehen wir klastische Sedimente von riesiger Mächtigkeit. Genau wie ein transgredierendes Meer schreitet eine 50 m hohe Sandablagerung unaufhaltsam darüber hinweg, und blendend weiss

[1]) Petermann's Geogr. Mitteil. 1897: S. 96, 184, 236. 1898: S. 107.

leuchtet uns dort ein rezentes Salzlager entgegen. Nur dem nachhaltigen Einfluss neptunistischer Anschauungen ist es zuzuschreiben, dass man zögerte, diese Gebilde für die natürlichen und notwendigen Wirkungen eines regenarmen Klimas zu halten, und lieber zu den Fluten des Saharameeres seine Zuflucht nahm, ehe man in der Wüste die Wirkungen der dort herrschenden meteorologischen Bedingungen wiedererkannte. Es widerspricht den Gesetzen des Naturgeschehens, dass eine Reihe lithogenetischer Prozesse, z. B. die Bildung von buntgefärbten Sandlagern, von Salzstöcken oder Gypsschichten, die heutzutage nicht am Meeresgrund und nur in den abflusslosen Gebieten des Festlandes beobachtet werden, vom Cambrium bis zum Pliocän sich nur am Meeresgrunde vollzogen haben könnten, und wir werden notwendig dahin geführt, auch für die geologische Vergangenheit dieselben Bildungsvorgänge anzunehmen, die sich in der Gegenwart vor unseren Augen in gesetzmässiger Weise vollziehen.

3. Die trockene Verwitterung.

Nackt und kahl ragen malerische Berge und abenteuerliche Felsgestalten aus dem ebenen Schuttlande. Kein Stäubchen klebt an der frischen Gesteinsoberfläche, kein Schutt bedeckt die leuchtende Farbe des Felsens. Hart daneben liegen Schuttmassen, in denen 200 m tiefe Bohrschächte weder Grundwasser noch anstehendes Gestein gefunden haben. Glatt und unersteiglich, wie die Dolomiten von Südtirol, steigen 1000 m hoch die dunkelroten Granitnadeln wie riesige Moscheenkuppeln oder Zuckerhüte empor. Mit senkrechten Felswänden dringen meilenlange Thäler blind endend in die Tafelgebirge sedimentärer Schichten hinein. Auf verengtem Stiel ragt hier ein Pilzfelsen empor, unter dessen überhängendem Kopf ein Reiter rasten kann, lange Felswände sind durch Fenster und Säulen gegliedert, und ein hoher Gang zieht sich hinter den Säulen entlang. Tiefe taschenartige Höhlen, breit wie der Rücken einer Riesenschildkröte, dringen in die Granitabhänge hinein, und grosse Blöcke sind innen hohl, so dass sie einem Eremiten zur Wohnung dienen könnten. Weite Amphitheater erscheinen im Laufe einer schmalen Erosionsrinne, und isolierte Zeugenberge sind dem weiten Wüstenplateau vorgelagert. Eine rätselhafte Kraft muss an diesen Felsen gebohrt und gefressen haben, und durch eine geheimnisvolle Gewalt muss das gelockerte Material entführt worden sein.

Wir werden im nächsten Abschnitt zeigen, wie durch die abtragende Thätigkeit des Windes die verwitterte Gesteinskruste überall so rasch entfernt wird, dass fast immer der unzersetzte Felsen zu Tage tritt. In diesem Kapitel wollen wir schildern, wie in der Wüste klimatische Umstände herrschen, die auch kleinen Wassermengen eine grosse Kraft erteilen. Die trockene Verwitterung erfolgt zwar auch unter Mitwirkung des Wassers, aber es ist die Wirkung starker Lösungen und hoher Temperaturen, die hierbei die massgebende Rolle spielt.

Wenn sich in den regenreichen Ländern ein wassergetränkter Boden weigert, neue Regenwasser aufzunehmen, so saugt dagegen der ausgedörrte Wüstenboden grosse Niederschlagsmengen auf; aber während im gemässigten Klima Europas aus den wassergesättigten Schichten Grundwasser, sumpfige Stellen und Quellen austreten, hebt die gewaltige Kraft der Wüstensonne schon nach

kurzer Zeit die eingesickerten Wassermengen wieder empor und besiegt selbst die Kraft der feinsten Kapillaren.

Chemisch rein oder mit geringen Spuren elektrisch entstandener Salpetersäure dringt der Gewitterguss in den Erdboden und die Felsen hinein. In einer wohldränierten Landschaft werden alle leicht löslichen Verbindungen rasch aus dem Felsen und dem Erdboden ausgewaschen, und der Fluss trägt die gelösten Bestandteile zum Meer. Marine Gesteine verlieren ihr Seesalz, Eruptivgesteine die letzten Spuren von vulkanischen Sublimationen. Alle diese, chemisch so wirksamen Verbindungen werden rasch ausgelaugt und entfernt.

In der Wüste können die seltenen Niederschläge die Mengen leichtlöslicher Felsbestandteile nicht bewältigen, und eine vielgestaltige Schar chemischer Verbindungen wartet des lösenden Wassers. Hygroskopisch durstig nehmen sie jedes eindringende Tröpfchen auf und würden es nicht wieder hergeben, wenn die Kraft der Wüstensonne und des Wüstenwindes nicht so gewaltig wäre. Aber glühender Sonnenbrand erhitzt den Felsen auf über 70°, trocknet die Rindenschicht völlig aus und zwingt deren Kapillaren und Poren, sich aus tieferen Schichten neue Feuchtigkeit zu holen. Die gelösten Salze aber efflorescieren an der Felsenoberfläche oder auf dem Wüstenboden. Man denke sich nun ein Lösungsgemisch verschieden leicht löslicher Salze im Gestein, so wird eine eigentümliche Selektion und Trennung derselben erfolgen. Manche Verbindungen verschmelzen chemisch mit dem Gesteinsmaterial; die Bildung der braunen Schutzrinde, gewisse Cementierungen lockerer Sedimente und die Färbung mancher Wüstensande gehören hierher. Andere Substanzen bilden ein trockenes Pulver, das jeder Windstoss entfernt und es den äolisch gebildeten Ablagerungen beimengt. Endlich giebt es sehr hygroskopische Salze, die am Felsen oder Boden so lange kleben bleiben, bis sie ein Regenguss entfernt. Sie sammeln sich schliesslich innerhalb der abflusslosen Gebiete da an, wo in einer Depression alle Wasserläufe verdampfen, und geben Anlass zur Bildung chemischer Salzlager.

Die grosse Bedeutung dieser Salze für die Verwitterung in der Wüste ist besonders von G. Schweinfurth erkannt und eingehend von E. Sickenberger in Cairo studiert worden. In zahlreichen Briefen und einem Manuskript von 25 Seiten, »Bemerkungen zu Johannes Walther: »Die Denudation in der Wüste« von E. Sickenberger 1893«, das ich auf den Wunsch des Verstorbenen hier verwerte, stellte er mir die Resultate seiner ausgezeichneten Arbeiten zur Verfügung.

Betrachten wir zuerst die Thätigkeit der Salzlösungen im Gestein, so ist es bekannt, welche Rolle die Chloride und andere leicht lösliche Verbindungen in der Natur und in der Technik als Vermittler chemischer Verwandlung spielen, es ist bekannt, wie intensiv die Salzlösung des Seewassers zersetzend auf alle Küstengesteine einwirkt. Was wir im Laboratorium beobachten, was wir am Meeresufer deutlich sehen, das vollzieht sich freilich tief im Innern

der Wüstenfelsen, und nur aus den Wirkungen können wir auf die geheimnisvollen Vorgänge schliessen.

O. Fraas, der in seinen Schilderungen „Aus dem Orient" so viele treffende Beobachtungen über die Wüste mitteilt, hat zum ersten mal darauf hingewiesen, dass hier eine ganz andere Art der Verwitterung vorkommt: »die Verwitterung geht deutlich von innen nach aussen zu vor sich, und es macht einen ganz eigentümlichen Eindruck, auf die Nummulitenkalke vom Mokattam einen Schlag mit dem Hammer zu führen. Der Schlag dröhnt, als schlüge man auf eine Höhlung, durch die aussen harte Kruste fährt ein Loch, und innen ist der Stein weich und pulverig, ausgelaugt. Besonders die Karbonate unterliegen einer so raschen Zersetzung, dass Grabsteine aus Marmor schon nach 30 bis 40 Jahren zerbröckeln. Offenbar spielt hierbei der Salzgehalt der Felsen die wichtigste Rolle. Ein Stück Kalkmergel vom Mokattam wurde tagelang in Süsswasser gelegt, drei- bis viermal abgewaschen und abgebürstet, und doch blüht immer wieder Chlornatrium daran aus.«

So saugt die heisse Wüstensonne wie eine Saugpumpe beständig Salzlösungen durch alle Gesteine, und während das Wasser an der Erdoberfläche verdunstet, das ausblühende Salz vom Wind abgeblasen oder vom Regen abgewaschen wird, dringen neue Salzlösungen aus der Tiefe des Felsens empor. Unter dem Einfluss dieser Lösungen werden die Gesteine mürbe und morsch, und wenn durch besondere Vorgänge auch die äussere Gesteinsrinde verhärtet, so erweicht sich dabei doch der Kern des Blockes. Grosse Kalkquadern, die vor 4000 Jahren beim Bau eines altägyptischen Stauwerkes (s. Bild 11) aufeinandergefugt wurden, sind bis auf eine 5 cm dicke Rinde völlig ausgehöhlt, und während ihre Aussenseite hart und fest erscheint, ist die Innenwand des Hohlraums mit zahllosen Bröckeln und Splittern bedeckt, die der vorbeibrausende Wind leicht herausholt.

Beim Austritt des Salzes aus dem Gestein bilden sich krümelige und faserige Salzkrystalle, die durch ihre Krystallisation in allen Spalten ebenso wirken müssen, wie der Spaltenfrost in unserem Klima; so erweicht das Salz nicht nur auf chemischem Wege die Felsen der Wüste, sondern zertrümmert sie auch mechanisch.

In welcher Weise Regen und Wind die austretenden Salzteilchen entführen und an bestimmten Stellen sammeln, das wird uns in einem späteren Abschnitt beschäftigen. Hier müssen wir noch auf einige sehr interessante chemische Vorgänge an der Oberfläche der Felsen und Gesteine eingehen.

In meiner Denudation in der Wüste hatte ich das Problem der braunen Schutzrinde ausführlich behandelt und versucht, eine, wenn auch lückenvolle Erklärung dieser seltsamen Erscheinung zu geben. Beobachtungen, die ich seitdem in Amerika und Asien gemacht habe, sowie experimentelle Untersuchungen von Sickenberger und von Streeruwitz lassen eine erneute Besprechung der Frage notwendig erscheinen.

Wie ich jetzt ausdrücklich hervorheben kann, gehört die braune Schutzrinde zu den charakteristischsten Wirkungen eines regenarmen Klimas, und die Verbreitung derselben könnte geradezu als „Leitfossil" für ein dauernd oder periodisch trockenes Klima betrachtet werden. In Afrika, Nordamerika und Centralasien tritt sie unter ziemlich gleichartigen Umständen auf, und je pflanzenärmer ein Wüstengebiet ist, je mehr die Trockenheit überwiegt, desto häufiger finden wir Felswände, Blöcke und Kiesel mit dem gelben, braunen oder schwarzen, oft graphitartig glänzenden, oder nach Regengüssen matt gewordenen Ueberzug des „Wüstenlackes" bedeckt. Die mit nabatäischen Inschriften bedeckten Sandsteinblöcke im Vordergrunde des Bildes 5 sehen wie Basalt aus, obwohl das Gestein im Innern hellgelb ist. Manche Kalksteine zeigen nur wenig Neigung zur Rindenbildung; ihre Oberfläche erscheint lederbraun oder blassgelb. Finden wir aber Versteinerungen darin, dann ist deren Oberfläche oftmals tief kaffeebraun oder schwarz gefärbt. Kieselreiche Gesteine werden besonders leicht gebräunt, und kieselige Konkretionen oder Kieselspongien heben sich oft schwarzbraun von dem hellbraunen oder gelben Gestein ab. Bei dem Granit der Sierra de los Dolores und Sierra Diablo in Westtexas sind die Feldspäthe mehr gebräunt als die Quarze und Glimmer, bei isoliert im Sande liegenden Kieseln und Blöcken ist die Unterseite gewöhnlich heller gefärbt als die der Sonne ausgesetzte Oberfläche. In der Mohavewüste beobachtete ich, dass ein tiefschwarzer Ring die braune Oberseite von der rotgelben Unterseite trennte.

Die braune Schutzrinde ist in der Regel nur Bruchteile eines Millimeters dick und dem Gestein so fest angeschmolzen, dass es gewöhnlich unmöglich ist, sie isoliert davon abzulösen. Die Eigenfarbe des Gesteins spielt fast keine Rolle, denn weisse und rote Sandsteine des Gebel el Ahmar bei Cairo sind gleichmässig gebräunt.

Manche Unsicherheiten und Lücken in meiner früheren Darstellung ergänzen folgende Beobachtungen von Sickenberger:

Ritzt man mit einem scharfen Instrument oder einem Feuersteinsplitter die Schutzrinde, so erscheint der „Strich" in den meisten Fällen blutrot, sonst gelb oder grau. Der rote Strich bekundet Eisenoxyd, der gelbe Eisenoxydhydrat und der graue Manganoxyde. Mischungen dieser Stoffe werden durch die Mischfarbe des Striches ebenfalls angezeigt. Die gelben Strich gebende Rinde ist in der Regel der Anfang der Schutzrindenbildung, und die rote Eisenoxydrinde entsteht stets durch Wasserverlust aus dieser, doch kann man die Eisenoxydrinde durch Feuchtigkeit wieder in hydratisierte Rinde verwandeln, so dass sie gelben Strich giebt. Dieser Vorgang kann mit dem Feuchtigkeitsgrade der Luft wiederholt umgewechselt werden. Bei Mangangehalt aber bleibt der Strich, ob trocken oder feucht gehalten, grau.

Was die chemische Zusammensetzung der Rinde betrifft, so findet man von einem fast reinen Eisenoxyd bis zu fast reinem Manganoxyd alle Mischungs-

verhältnisse. Eisen und Mangan verhalten sich bei den hier in Frage kommenden Vorgängen ganz gleich und können sich gegenseitig vertreten, wie dies zahlreiche Analysen von Sickenberger an ägyptischen Gesteinen und von Streeruwitz an amerikanischen Rinden erwiesen haben. In der Oase Dakhel fanden sich sogar 8% Kobalt in der Rinde, was jedenfalls im Zusammenhang mit dem Kobaltgehalt der dort aufgeschlossenen, bis 40° warmen Thermalquellen steht. Bei den Analysen ist grosse Vorsicht nötig, damit nicht Splitter des Gesteins an der abgesprengten Rinde haften bleiben und das Ergebnis der Analyse beeinflussen.

Bei der Entstehung der Schutzrinde treten dieselben Kräfte in Thätigkeit, die an andern Gesteinen Rinden leichtlöslicher Salze erzeugen: Spuren von Bergfeuchtigkeit und intensive Sonnenwärme. Alle in Aegypten anstehenden Gesteine sind mehr oder weniger porös und nehmen, wenn sie durch Tau oder Regen befeuchtet werden, eine gewisse Menge Wasser in sich auf. Alle Gesteine enthalten in Aegypten ausserdem Spuren leichtlöslicher Salze, besonders Chlornatrium, das man überall nachweisen kann. Die so gebildeten Chloridlösungen nehmen unter gewissen Verhältnissen Eisen und Mangansalze auf, die entweder schon im Gestein enthalten waren, oder aber in feinsten Staubteilchen an die befeuchteten Felsen angeblasen wurden. Dass die Feuchtigkeit eine gewisse Rolle bei der Schutzrindenbildung spielt, geht daraus hervor, dass Sickenberger an den Katarakten von Assuan und Kalabsche die dort tiefschwarze Schutzrinde auf roten, braunen und milchweissen Gesteinen nur an den vom Hochwasser bespülten Felsen fand, aber nicht über der Hochwasserzone, und ebensowenig auf den immer unter Wasser stehenden Blöcken. Auch die schwarzen Ringe am Rande der rotbraunen Unterseite oben gebräunter Kiesel der Mohavewüste sprechen für die Mitwirkung einer gewissen Befeuchtung.

Die Kohlensäure und die den Versteinerungen entstammende Phosphorsäure, die in Schutzrinden auf Kalk gefunden wurde, spielen wohl auch als Lösungsmittel eine Rolle. Wenn die mit solchen Lösungen durchtränkten Gesteine erhitzt und ausgetrocknet werden, so treten die Lösungen kapillar an der Oberfläche hervor. Die Eisen- und Mangansalze vertrocknen und bilden einen zarten Ueberzug. Die Kieselsäure in krystallinischen Gesteinen und die Phosphorsäure in den Kalken haben zu frisch gefällten Eisen-Manganoxyden eine solche Affinität, dass an der Berührungsstelle sofort eine chemische Verbindung zu Stande kommt, welche cementierend die Oxyde fest hält, während die ausgeschiedenen Chloride vom Winde abgeblasen werden. In den Rinden auf Kalken des Mokattam und des Uadi Dugla fanden Piccard und Sickenberger in sich kontrollierenden Analysen 2½% Phosphorsäureanhydrit. Diese Phosphorsäure stammt jedenfalls von fossilen Organismen her und erklärt es, warum die von mir (D. i. d. W. Tafel VI, Fig. 4, 5, 6, 7) abgebildeten Nummuliten viel stärker gebräunt sind, als der sie umschliessende Kalk. Die in Ergänzung dieser chemischen Studien von Herrn von Streeruwitz an

mexikanisch-texanischen Schutzrinden vorgenommenen Analysen und Versuche ergaben ein vollkommen identes Resultat.

Von Streeruwitz hatte im Oktober 1891 bei Sierra Blanca und Van Horn im westlichen Texas Exkursionen nach einer Reihe von Gebirgen und Trockenthälern gemacht, um mich wenige Wochen später dahin zu führen. In der Zwischenzeit war ein heftiger Wolkenbruch dort herniedergegangen und hatte an den Schutzrinden der Granitblöcke und Sandsteine Veränderungen hervorgerufen. Fig. 2 zeigt uns die zahlreichen Lücken, welche in die braune Rinde hineingerissen sind; aller Glanz war verschwunden und überall bemerkte ich die Zerstörung einzelner Flächen innerhalb der gebräunten Oberfläche. Als von Streeruwitz dann solche matt gewordene Rinden mehrere Tage einer sehr trockenen und ozonisierten sauerstoffreichen Luft aussetzte, stellte sich die einstige Farbe wieder ein. Die Bildung des charakteristischen Speckglanzes, der so häufig mit der braunen Schutzrinde verbunden ist, geschieht offenbar durch den schleifenden Sandwind. Man kann sich in der Wüste leicht davon überzeugen, dass die braune Rinde das darunter liegende Gestein gegen die Angriffe der Atmosphärilien schützt und unangreifbar macht. Durch den an gebräunten Felswänden herabrinnenden Regen wird aber, wie solches auch Sickenberger bestätigt, die Eisenoxydrinde leicht hydratisiert und zum Abblättern gebracht. So erklärte ich schon früher die Bildung der regelmässigen Säulengänge und die Steinzapfen an manchen Sandsteinwänden der Sinaihalbinsel.

Die analytischen Studien von Sickenberger regen die Frage an, ob nicht auch ein anderes, sehr merkwürdiges Wüstenproblem durch dieselben Umstände erklärt werden kann, nämlich die rote oder gelbe Farbe mancher Dünensande. Ich denke hier nicht an den Namen Kisilkum d. h. Roter Sand, der ebensowenig wörtlich zu nehmen ist, wie Karakum d. h. Schwarzer Sand, denn die Sanddünen der turkmenischen Wüsten sind hellgelb. Dagegen ist die ganze zentralarabische Wüste Nefûd mit karminrotem Sande[1]) bedeckt; rote Sanddünen werden aus Australien[2]) mehrfach beschrieben, und auch aus Südafrika wird von rotgefärbten Dünen berichtet. Ich habe leider keine dieser Lokalitäten gesehen und kenne nur ein Land, wo ähnliche rote Dünensande in grösserer Verbreitung auftreten, nämlich im Tinevelly-Distrikt südlich der Koromandelküste. Die dort weitverbreiteten Teridünen[3]) hat Foote beschrieben und mit den grossen Dünen des Nefûd verglichen. Das Klima des Tinevelly-Distrikts ist sehr trocken, und es fallen weniger als 30 Zoll Regen. Während vier Monaten

[1]) Vergl. Lady Blunt, A Pilgrimage to Nedj, und Euting, Verh. des Vereins für Erdkunde, Berlin 1886.

[2]) Vergl. Petermann's Geogr. Mitteil. 1867. Tafel 4. 1876. S. 34. Foote, Geology of Madura and Tinevelly-District. Mem. Geol. S. of India. XX. S. 87.

[3]) Nicht Terai, wie ich in meiner Lithogenesis der Gegenwart den Ausdruck wiedergegeben habe.

wehen fast ununterbrochen trockene Stürme und beeinflussen die Landoberfläche viel mehr als die Monsune. Neben den 15 m hohen Küstendünen sind die karminroten Teridünen ein charakteristisches Element der Landschaft. Sie erreichen eine Höhe von 70 m über dem Meeresspiegel, eine Breite von 4 km und eine solche Länge, dass einzelne Sandgebiete eine Fläche von über 60 qkm bedecken. Die Farbe des Sandes ist bald hellrot, bald vom dunkelsten Karmin und entsteht durch einen dünnen Ueberzug von Eisenoxyd auf der Oberfläche der runden Quarzkörner. Natürliche Durchschnitte zeigen ausgezeichnete Diagonalschichtung. Von organischen Ueberresten fanden sich verkalkte Holzreste und Schalen der Helix vittata. In den roten Sanden an der Küste bei Manapad, die durch ein kalkiges Cement verkittet sind, kommen neben Landschnecken auch marine Reste vor.

Den Sand des Nefûd hat Phillips[1]) genauer untersucht. Die Quarzkörner sind gerundet, einzelne zeigen frische Bruchflächen mit beginnender Rundung der Kanten. Ein zarter Ueberzug von Eisenoxyd umgiebt jedes Korn, und durch Auflösung in Salzsäure wurde die Gesamtmenge dieser Eisenoxydhäute auf 0,21 % bestimmt. Eine Analyse des Sandes ergab: 98,53 % Kieselsäure, 0,28 % Eisenoxyd, 0,88 % Thonerde, Spuren von Kalk, Magnesia und Alkalien. Wenn man erwägt, dass der Eisengehalt des Quarzsandes immer noch höher ist, als derjenige der Rinde, so hat die Vorstellung nichts Befremdendes, dass auch letzterer ursprünglich im Sand enthalten gewesen sein kann und durch dieselben Vorgänge an die Oberfläche heraufgedrungen ist, durch welche die braune Schutzrinde an der Aussenseite von Wüstenkieseln und Steinen entsteht. Der helle Wüstensand wird ebenso stark erwärmt wie dunkele Gesteine. Meine Temperaturmessungen bei Perewal ergaben, dass die Wärme an der Oberfläche eines sehr hellen Sandes ebenso hoch stieg, wie die Temperatur an der Oberfläche eines olivgrünen Dolomits, in beiden Fällen erreichte sie eine Höhe von 48°, während die Luft nur 32° warm wurde. Sind in solchen stark erhitzten Sandkörnern Spuren von Eisensalzen enthalten, und unter Mitwirkung von Alkalien gelöst worden, so muss dieser Eisengehalt sich an der Oberfläche der Sandkörner als dünne Rinde zeigen, und bedingt die charakteristische gelbe oder rötliche Färbung äolisch aufbereiteter Sande.

Noch viel wichtiger als die chemische Verwitterung unter Mitwirkung von Salzlösungen ist die physikalische Verwitterung durch die Sonnenstrahlen. Da bisher wohl Luft- und Sandtemperaturen in Wüsten bestimmt worden waren, aber genaue Angaben über Felsentemperaturen fehlten, suchte ich bei meiner letzten Wüstenreise in Turkestan genauere Zahlen zu gewinnen. Nach verschiedenen Vorversuchen, die ich im physikalischen Institut zu Jena angestellt hatte, erschien es zweckmässig, das Quecksilbergefäss des Thermometers als breite Spirale zu gestalten und diese, in Messingsand eingebettet, auf den Felsen zu

[1]) Quaterly Journal. Geol. Soc. London 1882. S. 111.

legen. Wahrscheinlich bleiben die hierbei gewonnenen Werte noch um einige Grade hinter den Maximaltemperaturen zurück, und da ich meine Beobachtungen erst im September anstellte, so erreichen sie bei weitem nicht die hohen Sommertemperaturen, aber immerhin gewähren sie interessante Einblicke.

Am 19. September 1897 bestimmte ich am Kap Taschutach bei Krasnowodsk (Ufer des Caspi) nachmittags 2 Uhr die Lufttemperatur zu 35° C. Ein hellrotes Lavagestein, das in malerischen Gängen die Vulkaninsel Karagach durchsetzt, war 43° C. warm. Eine grüne vulkanische Breccie zeigte 45,6° C. und eine dunkelbraune Lava 53° C.

Am 23. September mittags mass ich die Temperatur brauner verkieselter Spongiten in gelben Kalkblöcken am Fusse des Grossen Balchân zu 45°, während die ziemlich windige Luft 32° C. zeigte.

Zwei Tage später[1]) fand ich Zeit, eine längere Reihe von Temperaturmessungen vorzunehmen.

Ich stellte meine Beobachtungen an einem, etwa 10 m hohen isolierten Hügel, O. der Station Perewal, an und beobachtete von früh 5 Uhr bis abends 10 Uhr am 25. Sept. 1897 stündlich die Temperaturen der Luft, des Sandes, des Lössbodens und eines olivbraunen Dolomits. Während des ganzen Tages herrschte ein sehr heftiger Oststurm, so dass alle Temperaturen von morgens 5 Uhr bis mittags 1 Uhr unter dem direkten Einfluss lebhaft bewegter Luft angestellt wurden. Um 1 Uhr verlegte ich meinen Beobachtungspunkt von dem Ostabhang des Hügels nach dessen Westabhang in den Windschatten und beobachtete hier bis abends 10 Uhr.

Um 5 Uhr 40 Min. V. ging die Sonne auf, um 5 Uhr 20 M. N. ging sie unter. Die Lufttemperatur wurde durch Schleudern eines sehr empfindlichen Thermometers festgestellt, und der den ganzen Tag herrschende Wind erleichterte diese Beobachtung sehr. Der zweite Thermometer lag auf einer Unterlage des hellen feinkörnigen Wüstensandes so, dass das Quecksilbergefäss gerade von einer dünnen Sandschicht bedeckt war. Der dritte Thermometer war ebenso in eine Schicht blassrötlichen Lössstaubes eingebettet, wie er ausgedehnte Strecken des umgebenden Steppenbodens bedeckt. Der vierte Thermometer lag auf einem etwa 5 cm dicken und 20 cm breiten und langen Block von olivbraunem Dolomit, eingebettet in eine dünne Schicht von Messingsand, welcher die Quecksilberspirale leicht bedeckte. Vor Beginn der Beobachtung beschattete ich mit einem Blechdeckel das Quecksilbergefäss jedes Thermometers. Sofort begann die Temperatur um 1—2° C. zu sinken, dann blieb sie einige Zeit konstant, um wieder und zwar kontinuierlich herabzusinken. Ich notierte den Thermometerstand während des stabilen Zeitmomentes.

Die Temperaturen von Sand, Löss und Felsenoberfläche stimmten um 5 Uhr morgens nahezu mit der Luftwärme überein, dann stiegen sie langsam

[1]) J. Walther, Geologische Studien in Transcaspien. Bull. Soc. Imp. des Nat. Moscou 1897, N. 1, S. 3—5.

über dieselbe empor und zwischen 2 bis 3 Uhr Nachmittags war die Luft 33° C., der Löss 46° C., der Sand 48° C., der Felsen 49° C. warm. Dann sanken die Kurven mit der sinkenden Sonne steil hinab, schnitten kurz nach Sonnenuntergang die Luftkurve und um 8 Uhr Abends war die Luft 24° warm, während die anderen Objekte auf 21° C. abgekühlt erschienen.

Neben der Abkühlung durch den Sonnenuntergang ist der Einfluss des Windes auf die Bodenwärme bemerkenswert, denn als ich um 1 Uhr meinen Beobachtungsort von der Windseite im O. auf die Windschattenseite im W. verlegte, stiegen die Temperaturen von Löss, Sand und Felsen momentan um 4—5° C., während die Lufttemperatur konstant blieb.

Auf meine Bitte hatte Herr Hofrat Ahnger die grosse Liebenswürdigkeit, eine Anzahl weiterer Temperaturmessungen mit meinen Thermometern zu veranstalten. Am 5. Mai 1898 beobachtete er bei Merw um 1 Uhr 15 Min. NM.

Lufttemperatur	31,5° C.
Erdtemperatur	40,5° „
Temperatur eines Stückes braunen Holzes	53,0° „

Am 27. Juni beobachtete er auf lehmigem Takyrboden bei Duschak in Afghanistan folgende Zahlen:

Beobachtungszeit	Temp. der Luft	Temp. des Takyrs	Beobachtungszeit	Temp. der Luft	Temp. des Takyrs
9 Uhr	29,5° C.	43° C.	10 Uhr 30 Min.	30,5° C.	60° C.
9 Uhr 15 Min.	30,5° „	52° „	10 „ 45 „	31,5° „	61° „
9 „ 45 „	30,5° „	55° „	11 „	32° „	62° „
10 „	31° „	57° „	11 „ 20 „	33,5° „	64° „
10 „ 15 „	30° „	59,5° „	12 „	33,5° „	64,5° „

Eintretender Wind erniedrigt die Bodentemperatur:

Beobachtungszeit	Temp. der Luft	Temp. des Takyrs
2 Uhr 45 Min.	35° C.	56° C.
4 Uhr	37° „	47,5° „

Die Thermometer kommen in den Schatten und werden daher nach der besonnten Seite des Hügels gelegt:

Beobachtungszeit	Temp. der Luft	Temp. des Takyrs
4 Uhr 30 Min.	30,5° C.	51,5° C.
6 „	33° „	43° „
7 „	39° „	42° „
7 „ 30 „	37° „	40° „
7 „ 45 „	36° „	39° „

Am 28. Juni ergab eine Messung auf Takyrboden bei Duschak im Schutz vor dem Wind folgende Zahlen:

Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme	Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme
9 Uhr	30° C.	47° C.	3 Uhr	35,5° C.	59,5° C.
9 „ 30 Min.	30,5° „	54° „	3 „ 30 Min.	35,5° „	57° „
10 „	31,5° „	55° „	4 „	35,5° „	57° „
10 „ 30 „	31,5° „	59,5° „	4 „ 15 „	34° „	55° „
11 „	33,5° „	63° „	5 „	33,5° „	53° „
11 „ 30 „	33,5° „	64° „	5 „ 30 „	34° „	49° „
12 „ 15 „	34° „	65,5° „	6 „	33° „	44° „
1 „	35° „	65° „	6 „ 30 „	33° „	40° „
1 „ 30 „	34,5° „	63° „	7 „	32° „	36° „
2 „ 15 „	35° „	62° „			

Bei Askabad beobachtete Herr Ahnger am 14. Juli auf Lössboden:

Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme	Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme
8 Uhr morgens	28° C.	33° C.	1 Uhr	39° C.	71° C.
8 Uhr 30 Min.	30,5° „	43,5° „	1 Uhr 30 Min.	39° „	71° „
9 „	32° „	50,5° „	2 „	39,5° „	71° „
9 „ 30 „	33° „	55,5° „	5 „	40,5° „	62° „
10 „	33,5° „	58,5° „	6 „	38,5° „	54° „
11 „	35,5° „	64,5° „	6 „ 30 „	36,5° „	52° „
12 „	36,5° „	70° „			

Sonnenuntergang:

Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme	Beobachtungszeit	Lufttemperatur	Bodenwärme
7 Uhr	32° C.	42° C.	9 Uhr 30 Min.	30° C.	32° C.
7 Uhr 15 Min.	31,5° „	40° „	10 „ 15 „	30° „	31° „
8 „	30,5° „	35° „	10 „ 45 „	30° „	28,5° „
8 „ 20 „	30,5° „	34° „	11 „	30° „	28,5° „
9 „	30° „	32° „	6 Uhr morgens	27° „	26° „

Diese überaus wertvollen Beobachtungsreihen werden besonders interessant, wenn man sie vergleicht mit den Beobachtungen über den Gang der Lufttemperatur, die Herr Hofrat Regan in den meteorologischen Tabellen für Askabad niedergelegt hat: Im Jahre 1893 war die geringste tägliche Temperaturdifferenz der Luft am 12. Dezember mit 15°, die grösste am 16. Oktober mit 26,6° C., im Jahre 1894 die geringste Differenz am 3. Januar mit 13,3° C., die grösste am 3. Mai mit 22,9° C. Im Jahre 1895 war die geringste Differenz am 15. März mit 17,2°, die grösste am 10. September mit 28° C. Verglichen mit den oben angeführten Bodentemperaturen ergiebt es sich, dass in Transkaspien die Temperaturschwankungen des Erdbodens sehr häufig innerhalb weniger Stunden mehr als 50° C. betragen müssen.

Die abkühlende Wirkung von Gewitterregen ist besonders von Pechuel-Lösche[1]) betont worden, der in Westafrika Bodentemperaturen von 84° C. beobachtet und die Temperatur des Gewitterregens zu 21—24° bestimmte. Ein einziger Platzregen kann also plötzlich die Oberfläche der Felsen um 60° abkühlen. Herr Hofrat C. Ahnger in Askabad berichtet mir, dass am 25. Mai 1897 in der Wüste bei Perewal tagsüber eine Temperatur von 50° C. beobachtet wurde. Nach einem wolkenbruchartigen Regen sank abends die Lufttemperatur auf 10° C. entsprechend einer Temperaturerniedrigung von 40° C.

Wie ich früher ausführlich besprochen habe, ist die Abschuppung (Desquamation von Richthofen's) der Gesteine eine direkte Wirkung der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen. Es lösen sich papierdünne (Kalk des Uadi Dugla, des Mokattam, des Galalaplateaus, der Gypsschlucht bei Krasnowodsk in Transkaspien) oder mehrere Centimeter dicke Rinden (Granit des Sinai, der Sierra de los Dolores [siehe Bild 3] in Texas) von dem festen, unverwitterten Gestein so vollständig los, dass es gelingt, metergrosse, bauchig gebogene Granitschalen abzuheben.

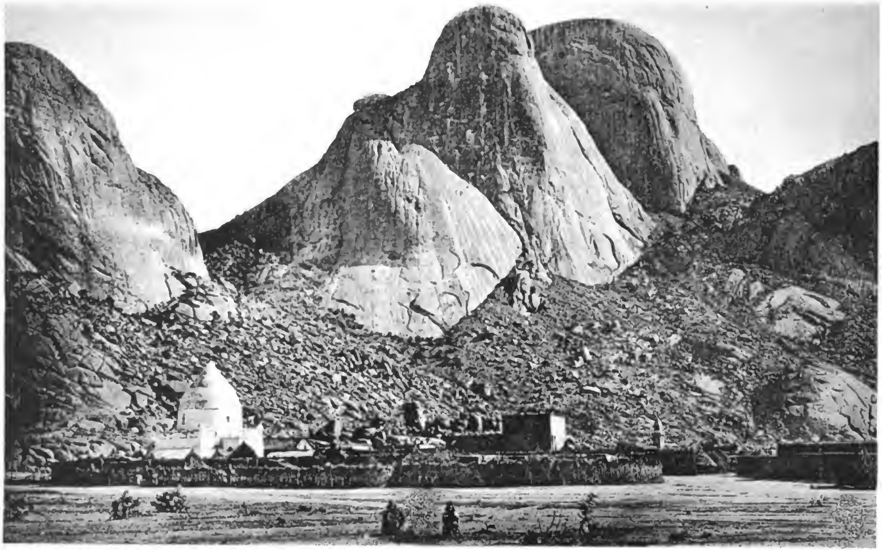
[1]) Ausland 1884. S. 425.



2. Durch Insolation gesprengter Granitblock in der Sierra de los dolores.



3. Abschuppung am Granit in der Sierra de los dolores (Texas).



4. Abschuppung und Absinken des Gehängeschuttes am Granitdom des Gebel Kassala.

Ein glänzendes Beispiel bietet hierfür der Djebel Kassalah (Bild 4) in Nubien, dessen steil aus dem ebenen Steppenlande aufragender Dom durch riesige Sprünge in Schalen zerlegt wird, die, an seinen Wänden herabgleitend, lange Furchen in den Granit hineingraben und ein gewaltiges Schuttmeer an seinem Fusse bilden.

Nach den Erkundigungen von Sickenberger führen auch die Beduinen diese Abschuppung auf die Sonnenwärme zurück.

Obwohl ich in meiner früheren Abhandlung von diesen peripherischen Randsprüngen die radialen Klüfte scharf unterschieden hatte, so habe ich doch damals nicht darauf hingewiesen, dass die letzteren durch Abkühlung entstehen. Wenn ein Felsblock, dessen äussere Rindenschicht durch Erwärmung ausgedehnt ist, rasch abgekühlt wird, so zieht sich diese Schicht zusammen und die Bedingungen für die Entstehung eines radial klaffenden Sprunges sind gegeben. Halbgesprungene und in zwei vollkommen getrennte Hälften zerteilte Kiesel findet man leicht auf jedem Sserirboden. In Afrika, Nordamerika und Centralasien habe ich ausgezeichnete Beispiele von solchen »geborstenen Geröllen« gesammelt. Grössere Blöcke sind oft durch glattwandige scharfe Sprünge in viele polygonale Stücke zerteilt, aber selten wird man die Wirkung der Abkühlung so ausgezeichnet beobachten können, wie an Bild 2 aus der Sierra Blanca in Westtexas. Ein etwa 5 m hoher runder Granitblock war mit brauner Rinde bedeckt, und dünne Schalen hatten sich durch Erwärmung von ihm abgehoben. Heftige Regengüsse, die wenige Tage vor meinem Besuch dort herniedergegangen waren, hatten die glänzende Schutzrinde matt gemacht und manche Schuppen abgerissen. Deutlich erkennt man die defekten Stellen der braunen Schutzrinde. Im scharfen Kontrast zu dieser gebräunten und verwitterten Oberfläche steht die frische gesunde Farbe der hohen glatten Sprungflächen, die den Block in drei Teile zerlegt haben.

Zwischen den durch Fig. 2 und Fig. 3 gegebenen Extremen finden sich naturgemäss so zahlreiche Uebergänge in der Richtung der Spalten, dass man im einzelnen Fall, wenn nicht direkte Beobachtungen vorliegen, oft schwer entscheiden kann, ob die Zerklüftung mehr bei der Erwärmung oder während der Abkühlung entstanden ist. Beide sind ja doch auch nur Teilerscheinungen der Insolation, auf die wir alle diese Spaltenbildungen zurückführen. Interessant sind in dieser Hinsicht auch folgende Beobachtungen von Sickenberger: Bei einem chemischen Versuch hatte er drei Wüstenkiesel in einem Sandbad liegen, das ziemlich rasch erhitzt wurde. Bei einer Temperatur von 60° C. zersprang der eine Kiesel in zwei Teile, bei 80° zersprangen diese beiden Hälften ebenso wie die anderen Kiesel in schalige, lange, der Kieseloberfläche entsprechend gekrümmte Scherben, bei 100° war von den drei Steinen nichts mehr übrig als messerförmige, oder lamellen- und lanzettförmige, oft sehr dünne, an den Rändern scharfe und spitze Scherben, zum Verwechseln den Feuersteinsplittern ähnlich, wie sie bei der Flintsteinfabrikation von Abu Roasch übrig bleiben; oder wie

sie oft weite Strecken in der Wüste übersäen. Mehrere derselben hätte man ohne Weiteres als prähistorische Fabrikate ansprechen können.

»Es wäre der Erwägung wert, ob nicht der primitive Mensch durch solche natürliche Sprungstücke zuerst auf die Idee des Messers gebracht wurde, ehe er versuchte, der Natur durch Kunst nachzuhelfen oder durch Schlag solche Sprengstücke zu erzeugen.«

Sprungflächen mögen in manchen Fällen auch jene Facetten präformiert haben, die der Wüstenwind später zur Bildung der (Dreikanter) Facettengeschiebe verwendet.

Da nun solche Sprünge nicht allein an den in der Ebene liegenden Geschieben, sondern ebenso an steilen Felswänden entstehen, hier sogar leichter, weil die Orientierung derselben plötzliche Bestrahlung oder rasche Beschattung begünstigt, so wird hier überall ein scharfkantiger Schutt gebildet, welcher der Schwerkraft folgend, leicht in die Tiefe stürzt und sich zu hohen Schuttkegeln anhäufen kann, wie dies Bild 1, 4, 13 und 38 zeigen.

Während einfache Gesteine durch Sprünge in gröbere Bruchstücke zerlegt werden, individualisiert sich die Wirkung der Insolation in den aus verschiedenfarbigen Mineralien zusammengesetzten vollkrystallinen Gesteinen. Granit, Gneiss und ähnliche Felsarten, deren verschieden gefärbte Gemengteile eine verschiedene spezifische Wärme besitzen, unterliegen bei sehr heftigem und wiederholtem Temperaturwechsel einer Zerbröckelung in die einzelnen Mineralien. So bildet sich am Fuss der Granitgebirge ein grober Sand, der, vom Winde sortiert und ausgeblasen, endlich in einen reinen Quarzsand verwandelt wird. Man beobachtet diesen Vorgang nicht in den Steppen und Halbwüsten, dagegen umso schöner in den kahlen Granitbergen des Sinai (S. Fig. 8 und 9), der arabischen Wüste, in Centralarabien (Euting), Südafrika (Stapff), Abyssinien (Schweinfurth). In diesen Ländern entsteht vorwiegend auf diesem Wege der Wüstensand.

Ueberblicken wir zum Schluss die geschilderten Verwitterungsvorgänge, so können wir nur wiederholen, dass die Verwitterung in der Wüste eine ungemein intensive Wirkung ausübt und fast alle Gesteine zersetzt und zerstört. Die überall vorhandenen Spuren hochgradiger Verwitterung sind keineswegs ein Ueberbleibsel aus früheren Zeiten, wo ein regenreiches Klima geherrscht haben soll, sondern charakteristische Wirkungen des trockenen Wüstenklimas der Gegenwart.

Die Löcher und Höhlungen in vielen Felsen sind auch nicht eine Wirkung bohrenden Sandes, oder korradierender Wasserstrudel, sondern die Folgen von physikalischen und chemischen Prozessen, die der Wüste eigentümlich sind. Es bleibt nur noch übrig zu erklären, warum der Verwitterungsschutt und die abgesprengten oder abgelösten Gesteinsplitter nicht überall noch am Felsen haften, warum die Verwitterungskruste in der Mehrzahl der Fälle fehlt.

4. Die Deflation.

Die Landschaftsbilder, denen wir in Europa begegnen, sind vorwiegend eine Wirkung der Wasser-Erosion. Tiefe Thalsysteme werden von dem reissenden Fluss durchströmt, dessen trübes Wasser Schlamm und Sand dahinträgt, in dessen Bett riesige Rollblöcke die transportierende Kraft des Hochwassers erkennen lassen. Mächtige Kieslager erfüllen die Thäler, Kies-Terrassen ziehen sich hoch auf das Plateau hinauf; und wenn uns tektonische Studien dazu führen, weite Thalmulden mit einem kühnen Luftsattel zu überbrücken, wenn eine eingeklemmte Scholle jüngerer Gesteine die Annahme mächtiger, jetzt verschwundener Schichtensysteme nötig macht oder ein kleiner Denudationsrest für ehemals weit verbreitete Formationsstufen spricht, so beruhigt uns ein Blick auf den brausenden Gebirgsstrom über die Kühnheit unserer tektonischen Rekonstruktionen. Denn dort sehen wir ja die Kraft, die unaufhaltsam und ohne Unterbrechung das verwitterte Gestein aus dem Gebirge bis nach dem fernen Meere trägt. Indem wir die Menge der täglich verfrachteten Flusstrübe berechnen, gelangen wir zu bestimmten Werten über die Mächtigkeit der in jedem Jahrhundert abgetragenen Gesteinsschicht, und der blaue Spiegel des Meeres verhüllt uns die weiteren Schicksale der Sedimente.

Unter dem Einfluss solcher altgewohnter Vorstellungen betreten wir eine Wüste und suchen nach denselben Grundsätzen, die wir an unsere heimatliche Landschaft legten, das seltsame Landschaftsbild zu erklären. Hier wie dort treten uns ganz riesige Massendefekte entgegen. Das Granitgebirge des Sinai ist rings umgeben von gesunkenen Schollen, die aus Nubischem Sandstein, Kreide und Eocän bestehen; wohl 1200 m Gestein baut sich aus diesen Schichten auf. Einzelne Schollen greifen auf den Granit hinüber, dann fehlen sie, und doch müssen sie viele hundert Quadratkilometer einst bedeckt haben. 1000 m tiefe Thalkessel dringen ausserdem noch in die karminroten Granitberge hinein, und überall müssen wir Kubikmeilen von Gestein ergänzen, wenn wir die theoretisch notwendigen früheren Zustände im Geiste wiederherzustellen versuchen.

Wir segeln über das Rote Meer und betreten bei dem einsamen Leuchtturme von Safarana afrikanischen Boden. Ein 30 km breites und 90 km langes

Thal, das Uadi Arabah, liegt vor uns; nach Norden und Süden begrenzt von den 1200 m hohen Steilwänden der nördlichen und südlichen Galala. Mitten im Thal lagert das fossilführende Karbon, eingeschaltet den Nubischen Sandsteinen, die nach Norden ganz konkordant von Exogyraschichten und Nummulitenkalken überlagert werden, während nach dem Kloster St. Antonius zu eine kiesbedeckte Ebene die tektonischen Anschlüsse verhüllt. Aber die dort anstehenden Schichten mit Gryphaea vesicularis werden im Süden des Klosters St. Paul wieder von Nubischem Sandstein unterlagert, und daher jeder Gedanke an ein Auskeilen dieser mächtigen Gesteinsserie ausgeschlossen. Nach einer rohen Schätzung beträgt der denudierte Massendefekt des Uadi Arabah etwa 2500 Kubikkilometer, und doch fehlt jeder Wasserlauf, der diese Felsmasse nach dem Roten Meer hinaustrüge, und die Lotungen in dem seichten Meere ergeben keine deltaähnliche Aufschüttung, die diesem Massendefekt irgendwie entsprechen könnte.

Wir reiten stundenlang über harten Wüstenboden, der in fast regelmässigen Abständen ganz bestreut ist mit Versteinerungen, die allein übrig blieben von mächtigen Schichtensystemen, welche einst darüber lagen. Aus den hangenden Schichten wurden die Nummuliten oder die Austern auf eine liegende härtere Bank projiziert; aber wenn das Wasser diese fehlenden Bänke entfernt hätte, so würden die darin enthaltenen Versteinerungen auch mit hinausgetragen worden sein oder wenigstens, in langen Flusslinien verteilt, den Weg zum Meere bezeichnen.

Und lesen wir die Schilderung der Topographie jener seltsamen Kulturgebiete, die als Oasen mitten in der Wüste liegen, oft unter den Meeresspiegel hinabreichend, von steilen Felsabstürzen rings umgeben und ohne Thalverbindung mit dem Nil oder dem Meere, so weisen uns auch diese Massendefekte darauf hin, dass wir uns frei machen müssen von den Vorstellungen über Erosion und Denudation, die wir aus unserer Heimat mitgebracht haben, wenn wir die Denudation in der Wüste richtig beurteilen wollen.

Um sich aus dem Dilemma zu befreien, haben frühere Gelehrte ein Meer zu Hilfe gerufen, das alle diese rätselhaften Wirkungen auf rätselhafte Weise hervorbringen sollte. Nachdem K. von Zittel die Hypothese des Saharameeres endgiltig beseitigte, hat man angenommen, dass die wasserleere Wüste früher sehr reich an Flüssen gewesen sei, — ohne zu bedenken, dass dann nicht die problematischen Landschaftsformen der Wüste, sondern die uns wohlbekannten Erosionserscheinungen des gemässigten Klimas oder des Aequatorialgürtels zu sehen sein müssten. Andere Forscher haben behauptet, dass die Verwitterung in der Wüste gering sei und infolgedessen auch kein Verwitterungsschutt zu transportieren wäre — und alle diese Annahmen konnten die Massendefekte der Wüstenlandschaft nur durch Kräfte erklären, die jetzt in der Wüste nicht wirksam sind.

Nach den Grundsätzen der ontologischen Methode, fossile Wirkungen durch rezente Vorgänge zu erklären, habe ich versucht, in meiner Denudation



5. Braune Schutzrinde am Sandstein des Uadi Mokatteb.



6. Blöcke im trockenen Bett des Uadi Feiran.



7. Schattenverwitterung am Granit nahe der nordindischen Wüste.



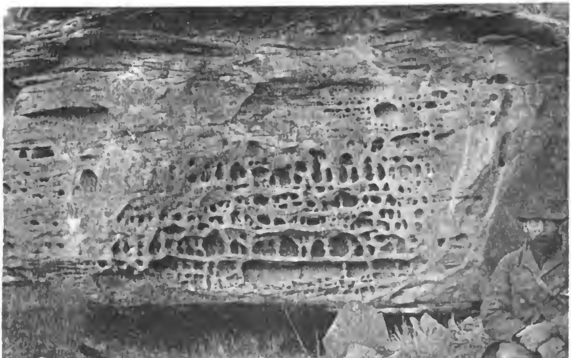
8. Sandfelder im Sinaigranit bei Scherm.



9. Düne mit breiten Rippelmarken bei Scherm.



11. Hohlblöcke in der Mauer des Stauwerkes im Uadi Guerraui.



12. Steingitter auf Sandstein in Arizona.



13. Granitblöcke am Isistempel bei Philae.



14. Bildung von Wackelsteinen in Colorado.



15. Wackelstein von Tandil bei Buenos-Aires.

in der Wüste die Wüstenlandschaft aus dem Wüstenklima zu erklären und jede Hypothese zu vermeiden, die andere, der Wüste fremde Ursachen anzunehmen gezwungen ist. Den Hinweis auf die wunderbare Denudationskraft verdanke ich F. von Richthofen, der in seinem »China« die Theorie begründete, dass die 200 m mächtigen Lösslager Innerasiens eine Anhäufung von Staub seien, der, vom Winde transportiert, aus der Luft herabgefallen sei. Diese Lösstheorie verlangt als notwendige Ergänzung die Annahme, dass der Wind das feinkörnige Material irgendwo aufgehoben habe, und dass topographische Hohlformen existieren müssen, deren Masse dem Volumen der Lösslager genau entspricht.

Ich habe die abtragende Wirkung des Windes »Deflation« genannt und diese scharf unterschieden von der wetzenden, schleifenden Korrasion des windgetriebenen Sandes. Deflation ist auch ohne Korrasion thätig, obwohl jedes durch den Wind aufgehobene Körnchen auch sofort als Projektil verwendet wird, aber Korrasion kann ohne Deflation nicht bestehen, denn das gegen den Felsen geschleuderte Sandkorn sprengt zwar ein winziges Stäubchen von ihm los, aber der Wind trägt dieses weiter. Deshalb lassen sich beide Vorgänge praktisch nicht trennen, obwohl sie theoretisch grundverschieden sind. Die Korrasion ist eine nebensächliche Begleiterscheinung der Deflation, und nur diese kann grössere Massendefekte erzeugen. Wenn ich später in meiner Lithogenesis beide Vorgänge zusammenfasste, so wollte ich ihren Gegensatz nicht mildern und bekämpfe nach wie vor die Anschauung, dass der windgetriebene Sand bei der Bildung des Wüstenreliefs irgendwelche bedeutsamere Rolle spielt.

Lockere Sedimente des Meeresstrandes und des Ufers grosser Flüsse kann der Wind ohne weiteres abblasen. Aber die diagenetisch verhärteten Ablagerungen und alle Gesteine müssen erst verwittern, ehe ihnen der Wind etwas anhaben kann. Nach den Ausführungen des vorigen Abschnittes ist es verständlich, dass alle, selbst die härtesten Felsen in der Wüste, sofern sie nicht durch die braune Schutzrinde geschützt sind, beständig in grobe und feine Fragmente zerlegt werden, und auch die Schutzrinde vermag diesen Vorgang nicht ganz zu hindern.

In meinem 1890 erschienenen Werk über die Denudation in der Wüste[1]) habe ich nicht allein den prinzipiellen Unterschied zwischen Sandkorrasion und Deflation genau präzisiert, sondern mich auch gegen jede Hypothese gewandt, welche das Wüstenrelief mit Kräften, die der heutigen Wüste fremd sind, zu erklären versucht.

Die Kritik hat vielfach meine Ansicht so verstanden, als ob z. B. bei der Bildung der Thalschluchten in der Wüste das Wasser überhaupt keine Rolle spielte und alles vom Wind abgetragen worden sei. Ich kann über diese Frage nur auf meine Abhandlung verweisen und nochmals betonen, dass ich nur ein der heutigen Wüste fremdes Klima ausschalte, während jede Kraft,

[1]) Abhandl. d. K. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Bd. XVI, No. III.

die man in der heutigen Wüste beobachten kann, bei meiner Wüstentheorie ihre gebührende Bedeutung gewinnt. Und dazu gehören die Wolkenbrüche, die in manchen Wüstengebieten eine so massgebende Rolle spielen, dass viele Reisende nur ihre Wirkung erblickten, und die Thätigkeit des Windes dabei übersahen.

Es hat immer etwas Bedenkliches, eine Theorie aufzustellen, die nach Lage der Umstände nicht jeder Forscher nachprüfen kann, weil nicht Jedem vergönnt ist, eine Wüstenreise zu unternehmen. Umso erfreulicher ist es, dass es K. Futterer gelang, am Heidelberger Schloss die unzweideutigen Beweise zu finden, dass hier die abtragende, aber nicht wetzende Thätigkeit des Windes eine ganz auffallende Wirkung gehabt hat[1]): der 1533 erbaute und 1689 gesprengte westliche Turm enthält einen schmalen Gang, durch den die Winde mit grosser Kraft eindringen können, und dessen Wand eine Anzahl ausgehöhlter Sandsteinquadern zeigt, die nach der ganzen Situation nicht durch treibenden Sand ausgebohrt sein können. Vielmehr kann nur der hereindringende Luftstrom die durch Verwitterung gelockerten Quarzkörnchen entfernt und also durch reine Deflation 10 cm tiefe Gruben ausgehoben haben Solche Erscheinungen kann man an vielen mürben Sandsteinflächen, die trockenen Winden ausgesetzt sind, auch in Deutschland beobachten, und wenn in unserem feuchten, regenreichen Klima solche Wirkungen der Deflation nachgewiesen werden, dürfte es nicht mehr so unwahrscheinlich sein, dass in der trockenen Wüste die Deflation ohne Sandschleifen eine ganz hervorragende Rolle spielt.

Wenn wir die Thätigkeit der Denudation in der Wüste studieren wollen, so müssen wir unsere Betrachtung bei den Felsenwüsten beginnen, denn sie stellen den Anfang eines Prozesses dar, der mit der flachundulierten unendlichen Wüstenebene endet.

Die flachen Granitkuppeln der deutschen Mittelgebirge werden vielfach als die normale Gestalt eines Granitberges betrachtet, und es kann nur an einer ganz anderen Wirkungsweise der denudierenden Kräfte liegen (Bild 4, 5, 6, 18, 28), wenn wir in der Wüste Granitberge sehen, die an Kühnheit der Formbildung mit den Dolomiten von Südtirol wetteifern. Bei der Station Needles in Arizona verlassen wir die Bahn, um an den Ufern des majestätischen Coloradostromes das seltsame Landschaftsbild eines Granitgebirges in der Wüste zu betrachten. Bild 28 zeigt uns im Hintergrund die kühnen Felsennadeln, Zacken und Zahnkämme, in die der homogene Fels zerlegt erscheint, und Bild 13 giebt uns das Trümmermeer grosser Granitblöcke wieder, die bei dem Isistempel von Philä hoch übereinandergetürmt sind. Bild 18 leitet uns an den Eingang einer schmalen Thalrinne, die mitten hineinführt in das Felsenlabyrinth des Sinaigranits; dürre Wüstenkräuter stehen am steinigen Ufer des

[1]) Mitteil. der Grossh. Badischen Geol. Landesanstalt III. 3. 1897. XIII.

Trockenthales, niedriges Gestrüpp wächst in seiner sandigen Sohle. Je näher wir an die Granitfläche herantreten, desto seltsamer werden die Felsgestalten. Hier scheinen Pilze oder Kohlköpfe von rotem Granit aus dem Boden zu wachsen, dort bilden riesige Blöcke ein gewaltiges Haufwerk. Tiefe Höhlen kriechen in die Felsen hinein, als ob riesige Wühltiere sie ausgegraben hätten. Hier liegt ein grosser Block, der innen so hohl ist, dass ein Eremit leicht seine Wohnung darin aufschlagen könnte, überall erkennen wir mit ein wenig Phantasie grinsende Menschenköpfe und abenteuerliche Tiergestalten, plumpe Bären und zierliche Katzen, breitrückige Schildkröten, fletschende Löwenrachen, gehörnte Salamander und scharfgezackte Drachenkämme.

Aber indem wir unser Auge von den Einzelheiten auf die grossen Formen der Granitlandschaft lenken, sehen wir wiederum eine fremdartige Scenerie. Ein schmales, enges Thal führt uns hinein in einen weiten Bergkessel. Wie aus einer Firnmulde steigen ringsum himmelhohe Berge empor, und wenn wir eine solche Felswand auf schmalem, gefährlichem Hirtenpfad überstiegen haben, dann öffnet sich wieder ein weiter Thalkessel, umgeben von einer zackigen Felsenmauer. Mögen wir den Granitdom des Brockens oder das Felsenlabyrinth der Luisenburg bei Wunsiedel durchwandern, solche Bergformen, solche Thäler, solche Granitfelsen suchen wir in unserem Klima vergebens.

Indem wir nun die Granitoberfläche näher betrachten, fällt es uns auf, wie frisch und unzersetzt der Granit der Wüste erscheint. Wenn bei uns gewöhnlich alle Feldspathkrystalle getrübt und zu weicher thoniger Porzellanerde zerfallen sind, sehen wir in der Wüste die Feldspathe unverwittert und in ihrer schönen fleischroten Farbe. Freilich sobald unser Hammer darauf fällt, werden wir eines besseren belehrt. Der scheinbar frische, gesunde Granit zerfällt sofort in ein Haufwerk erbsengrosser Bruchstücke. Die Quarzkrystalle trennen sich von den Feldspäthen, die Hornblende- und Glimmerkrystalle isolieren sich von den anderen Gemengteilen, und der ganze Mineralverband des sonst so festen Gesteins löst sich vollkommen auf.

Und verfolgen wir nun weiter das Granitgebirge bis zu einer höheren Gipfelgruppe, so überrascht uns der Anblick hellleuchtender Sandfelder (siehe Bild 8), die wie Schneefelder im Hochgebirge alle Vertiefungen mit ihrem glatten Teppich auskleiden, und auf denen sich die Schatten der Bergkämme mit scharfer Silhouette abzeichnen.

Von dem Granit wenden wir unsere Aufmerksamkeit dem **Sandsteingebirge** zu. Hellgelbe Sandsteinfelsen spielen am Sinai eine grosse Rolle, riesige Flächen von Oberägypten werden von den Nubischen Sandsteinen bedeckt, rote Sandsteine bilden in den texanischen Halbwüsten mächtige Gebirge. Aber nur selten erscheint der Sandstein in der Wüste mit seiner eigentlichen Gesteinsfarbe. Denn es überzieht ihn fast regelmässig ein dünner firnisähnlicher Ueberzug von braunem oder schwarzem »Wüstenlack«. Die glänzen-

den dunkelbraunen Felsen machen einen ernsten und furchtbaren Eindruck. Wie eine lange glatte, gepanzerte Mauer erheben sie sich aus der Wüstenebene des steinigen Arabiens, und bei den Felsentempeln von Petra (s. Bild 20) hat die Kunst des Architekten einen geradezu packenden Gegensatz geschaffen zwischen den Felsbildungen der Natur und den Formen der Menschenhand. Plötzlich stehen wir vor einer engen Spalte, die ins Innere des Gebirges hineinführt (s. Bild 19), Steinzapfen hängen von den gebräunten Sandsteinflächen herab, tiefe Höhlen dringen überall in das Gestein hinein. Wir verfolgen das labyrinthisch gewundene Thal, da öffnet sich plötzlich ein weites Amphitheater (s. Bild 1 und 22), mit steilen Wänden und überhängenden Felsbänken, dann läuft die schmale Thalrinne enggewunden weiter und führt uns in eine Sackgasse (Bild 21), aus der es keinen Ausweg giebt.

So wandern wir beobachtend weiter, und wenn wir jeden Felsblock und jede Bergform sorgsam betrachten, dann werden wir bald aufmerksam auf die Unterschiede, die zwischen dem Relief unserer regenreichen Heimat und der Topographie der regenarmen Wüste bestehen.

Das Landschaftsbild der Wüste setzt sich zusammen aus einzelnen Thal- und Bergformen, Felsgestalten, Relieferscheinungen. Wenn wir daher die Entstehung der Wüstenlandschaft im Ganzen erklären wollen, müssen wir zuerst unser Auge den Einzelerscheinungen zuwenden. Gelingt es uns, diese als Wirkungen des Wüstenklimas zu erklären, dann gilt dieselbe Erklärung auch für die Gesamtoberfläche des Landes.

Fast alle Wüstenfelsen erscheinen wie angeätzt und zerfressen von kleinen und grossen Löchern, Höhlungen und Taschen, zwischen denen zackige Nadeln aufragen oder spitze Zapfen herabhängen. Tiefe scharfkantige Spalten teilen die Gesteinsblöcke, feste Rinden umschliessen einen mürben Kern.

Glatte hohe Granitwände zeigen häufig Felsentaschen, die von unten nach oben in das Gestein hineindringen und von gewölbten Schalen beschattet werden. Manche Granitwände der Sinaihalbinsel (s. Bild 10) sehen aus, als ob zahlreiche breitrückige Schildkröten sich hineingegraben hätten, um sich vor den Strahlen der Sonne zu verkriechen. Aehnliches zeigt Bild 16.

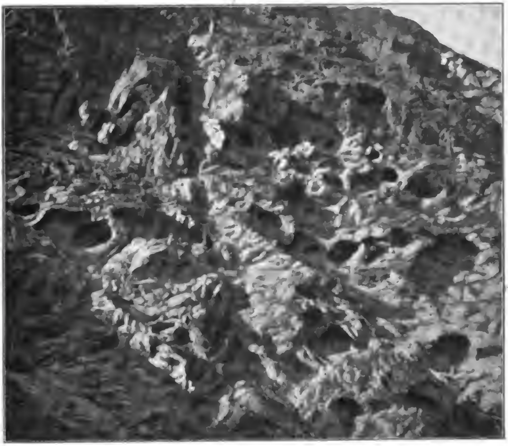
Glatte Sandsteinwände oder Kalkfelsen sind mit zahllosen napfförmigen Vertiefungen bedeckt, zwischen denen schmale Leisten hervorragen, sodass eine Art Bienenwabenstruktur entsteht. Durch weitere Vertiefung der Löcher und Verbreiterung derselben nach innen kann es zur Bildung von Hohlräumen kommen, vor denen ein unregelmässiges Steingitter (Bild 12) erhalten bleibt.

Hohe Wände von Nubischem Sandstein oder von Kalk sind behängt mit zahllosen Guirlanden nach unten zugespitzter Steinzapfen, die, oft mit brauner Rinde bedeckt, durch Schattenverwitterung immer mehr von der Felswand losgelöst werden (s. Bild 20).

Künstlich zugehauene Quadern (Bild 11), ebenso wie grosse Blöcke am Fuss von Felswänden sind wie kariöse Zähne Hohlblöcke (Bild 17) geworden.

Die Beschaffenheit des Gesteins ist für diesen Vorgang ziemlich nebensächlich, denn man findet Hohlblöcke von Granit, Sandstein, Korallenkalk ebenso wie solche von Konglomeraten.

Besonderes Interesse beanspruchen die Säulengänge, bei denen eine glatte Felswand (besonders schön am Nubischen Sandstein des Djebel Nakus bei Tor) von zahlreichen Reihen schmaler Fenster durchbrochen ist, zwischen denen sanduhrförmige Pfeiler stehen blieben, während ein gemeinsamer Hohl-



10. Verwitterungstaschen im Granit der Uadi Babah.

raum hinter denselben die Fensteröffnungen verbindet. Sie finden sich von kleinen und grossen Dimensionen in Sandstein, Kalk und Konglomeraten. Pechuel-Lösche[1]) hat ähnliche Bildungen am Granit von Südwestafrika beobachtet. Profile, die aus härteren und weichen Schichten aufgebaut sind, und Felswände mit gebankter Struktur zeigen gewöhnlich Hohlkehlen (Bild 7, 21, 32), wobei die hervortretenden und überhängenden Bänke oftmals mit Steinzapfen verziert sind.

Mannigfaltig wie die Struktur verwitterter Flächen ist die Gestalt isolierter Felsgebilde: Steinpfeiler (Bild 1) erheben sich oft ganz isoliert auf breitem Fundament und gruppieren sich zu seltsamen Pfeilergruppen. Werden sie nach oben durch eine härtere Schicht begrenzt, so tritt dieselbe als Schirm weit

[1]) Ausland 1892. No. 23, S. 446.

über den Fuss hervor, und es entstehen Pilzfelsen (Bild 23), die Sickenberger sogar in der Oase Khargeh (Bild 25) aus einer Kiesablagerung entstehen sah.

Härtere, aber undeutlich abgeteilte Zwischenschichten geben Veranlassung zu Kugelstäben oder einer kugelrunden Krönung des Steinpfeilers. Granitfelsen zerlegen sich in Blockmeere (Bild 13), oder durch Abblättern konzentrischer Rinden entstehen Kohlkopfsteine.

Sehr häufig verwittert die Unterseite eines grösseren Blockes so stark, dass sich derselbe immer mehr von seiner Unterlage abhebt (Bild 7, 14), nur noch mit einer kleinen Fläche auf derselben aufruht und endlich als Wackelstein (Bild 15) erscheint.

Betrachten wir ein Wüstenplateau von oben, so sehen wir die Ränder der durch härtere Schichten gebildeten Thalstufen (in Arabien Neged[1]) genannt) eigentümlich eingebuchtet. Diese Randbuchten (Bild 22), in den Badlands von Nordamerika Rimrock, von den Turkmenen Tschinki genannt, wiederholen dieselben Thalformen, die in grösseren Dimensionen als Amphitheater von steilwandigen Thälern (s. Bild 1 und 32) in die Tafelgebirge hineindringen.

Dem weiten Hamada-Plateau sind Zeugenberge oder Témoins, in Nordamerika Mesa oder Sentinel Rock (Bild 24 u. 26) genannt, vorgelagert, und obwohl sie oft mehrere hundert Meter entfernt sind vom Rand des Tafellandes, so zeigen sie doch, Schicht für Schicht, denselben geologischen Aufbau wie dieses.

Auffallend ist auch der Versteinerungsreichtum der Wüstenoberfläche im Gebiet mariner Schichten. Thalergrosse Nummuliten bedecken kilometerweit den Boden der arabischen Wüste beim Uadi Ssannur, zahllose Austern liegen zwischen Giseh und Sakkara auf dem glatten Felsboden, Aktäonellen scheinen die Kreidefelsen bei Abu Roasch zu bedecken, und hinter den westlichen Lehmhütten dieses Dorfes war eine blendendweisse Kalkwand ganz besetzt mit Hunderten von fossilen See-Igeln.' Da die zierlichen Stachelwarzen wundervoll herausmodelliert waren, konnte der Sandwind hier nicht gewetzt haben.

Die Menge von fossilem Holz am grossen Versteinerten Wald ist bekannt. Bis 10 m lange verkieselte Stämme sind allein übrig geblieben von einer jungen Decke tertiärer Gesteine, die einstmals grosse Strecken Aegyptens überzog.

Finden sich in weicheren Kreidegesteinen grosse Feuersteinkonkretionen, dann bleiben diese allein übrig, und übersäen die Wüstenfläche hinter Djebel Set. Mangankonkretionen wittern aus Nubischem Sandstein heraus und sind über die denudierte Gesteinsfläche ausgestreut.

Finden sich verkieselte Austern oder Korallen im Gestein, dann bleiben diese natürlich unverletzt und bedecken in solcher Menge den Boden, dass man der Wüstenluft eine besondere »verkieselnde Wirkung« zugeschrieben hat.

---

[1]) Palgrave, Zeitschrift für Allgem. Erdkunde. Berlin. Bd. XVIII, S. 72.

Und alle diese sonderbaren Einzelheiten sind charakteristisch für alle Wüsten der Erde, finden sich in Afrika, wie in Asien, in Amerika, wie in Australien wieder und fehlen fast immer ausserhalb der Grenzen der Wüste.

Als Sickenberger die Beduinen von Khargeh nach der Kraft fragte, die das sonderbare Relief der Wüstenfelsen erzeugt habe, antworteten sie: el hauah, d. h. der Wind, — und diese Auffassung der Wüstenbewohner deckt sich vollständig mit der Ansicht, die ich mir beim wissenschaftlichen Studium der Wüstenerscheinungen im Jahre 1887 gebildet hatte. Die Wüste ist abflusslos, durch das fliessende Wasser kann also kein Sandkörnchen aus der Wüste herausgetragen werden, kein Kiesel und kein Steinblock kann sie verlassen. Und doch begegnen wir überall riesengrossen Wirkungen abtragender Kräfte, ohne dass die Masse der klastischen Sedimente innerhalb der abflusslosen Gebiete diese Defekte ausgliche. Studieren wir sodann die mechanischen Ablagerungen, die sich innerhalb und am Rande der Wüste vor unseren Augen bilden, so spielen darunter windgetragene Lössmassen und windgetriebene Dünensande die wichtigste Rolle; und beobachten wir die klimatischen Vorgänge, so sehen wir Tag und Nacht den Wind als Transportkraft in Thätigkeit. Wie eine gelbe Stratuswolke verhüllt der Wüstenstaub tagelang den Horizont, Staubwolken lösen sich von der Steilwand hoher Gebirge ab und wirbeln lustig über die Ebene, um rasch zu verfliegen; Staubnebel ziehen wie flackernde Flammen über die Lehmsteppe, zahllose aufsteigende Luftwirbel heben die Staubmassen 300 m hoch empor, und Sandtromben drehen sich langsam über die von der Mittagssonne erhitzte Wüstenfläche.

Wenn wir alle diese Thatsachen zu einem Gesamtbild vereinigen, dann müssen wir notwendig den Wind für die wichtigste Denudationskraft und die Deflation für die wesentliche Ursache des Wüstenreliefs betrachten.

Eben und ungegliedert wie der Meeresboden sind die meisten Wüsten. Soweit das Auge reicht, erstreckt sich die horizontale Hamada oder die sanft undulierte Kieswüste. Kaum merklich ansteigend bewegt sich die Karawane über das schuttbedeckte Vorland, bis zum Fusse des Gebirges, das dann unvermittelt mit oft unersteiglichen Steilwänden daraus emporragt.

Die nordafrikanischen Wüsten tragen vielfach den Charakter der Hamada, in Arabien Neged genannt.[1]) Tagelang reiten wir über eine vollkommen ebene Felsplatte, die aus vielen Steinen mosaikartig zusammengefügt erscheint. Plötzlich tritt eine mehrere Meter hohe Terrainstufe auf; aber sobald sie erstiegen ist, dehnt sich wieder eine neue Felsentafel bis in weite Ferne. Kein Thal zerschneidet das Tafelland, kein Sandhügel, kein grösserer Felsblock bietet dem Auge einen Ruhepunkt, und nach den Schilderungen der Reisenden gehören die grossen Hamaden zu den trostlosesten Gegenden der grossen Wüste. Eine solche vollkommen ebene Steinwüste kann freilich nur in einem

[1]) Palgrave, Zeitschrift für Allgem. Erdkunde. Berlin. Bd. XVIII, S. 72.

horizontal geschichteten, nicht dislocierten Tafelland entstehen; wo beide Voraussetzungen nicht zutreffen, ist die durch Deflation gebildete Denudationsfläche etwas weniger eintönig. Der Rand der lybischen Wüste, westlich des Nilthals, die weite Fläche des Uadi Arabah in der Wüste Aegyptens zeigen an vielen Punkten dislocierte Klippen anstehenden Gesteins von wechselndem Fallen und Streichen, überdeckt mit einer dünnen Schuttdecke, die aus den härteren Residuen der entfernten Felsmassen besteht. Konkretionen und Versteinerungen, Gangausfüllungen und härtere Einlagerungen in dem einst darüberliegenden Gestein, haben der Deflation widerstanden. Und während vielleicht 100 m Gestein im Laufe langer Jahrtausende durch trockene Verwitterung zerkleinert und durch den Wind weggeblasen wurden, blieben die darin verteilten härteren Elemente liegen. Im grossen Ganzen genommen ist auch dieser Wüstentypus des Sserir (Sais in Kaschgarien [1]) genannt) eine unermessliche Ebene, aber im einzelnen besteht er aus zahllosen flachen Hügeln und flachen Einsenkungen, deren Lage bedingt wird durch einzelne, im Boden verborgene Felsenkerne. Wenn man ein tektonisches Modell einer durch Falten und Brüche gegliederten Landschaft aus Wachs bilden und dasselbe von unten erwärmen würde, so dürften die langsam ineinanderfliessenden Falten und Schollen, deren Konturen nach und nach schwinden und undeutlich werden, am besten die Bilder nachahmen, die man beim Anblick einer entstehenden Sserir-Wüste gewinnt. Auch hier entsteht endlich eine Ebene durch Abtragung.

Die landläufige Vorstellung, dass die Wüste eben sei, wie der Meeresboden, hat also ihre Berechtigung im doppelten Sinne und gewinnt tiefere Bedeutung, wenn wir uns klar machen, dass es sich hierbei in vielen Fällen nicht um eine aufgeschüttete Ebene, wie in unseren deutschen Tiefländern, sondern um eine Denudationsfläche handelt. Es giebt in der Erdrinde Diskordanzen, deren horizontale Fuge vielfach ohne Weiteres als marine Oberfläche betrachtet wird, obwohl sie nicht jene gleichsinnige Abdachung zeigt, die nach v. Richthofen für marine Transgression charakteristisch ist, und obwohl sie von Gesteinen ohne marine Reste überlagert erscheint. Nach dem oben Gesagten erscheint es bei der genetischen Analyse solcher Profile angezeigt, sich zu fragen, ob nicht eine äolisch entstandene Denudationsfläche vorliegt, die in einem abflusslosen Gebiet gebildet, später von den Sedimenten eines solchen überlagert wurde.

Am Rand und selbst in der Mitte solcher ebenen Denudationswüsten treten nun Thalbildungen auf, deren Entstehung zu vielen Spekulationen und Diskussionen Anlass gegeben hat. Ich will die Thalrinnen oder Uadis im folgenden trennen von den Thalkesseln. Beide bilden fast immer vegetationsreiche Gebiete in der pflanzenarmen Wüste und bedingen die »Oasen«.

Die Thalrinnen in der Wüste sind von überaus wechselndem Charakter und nur, wenn wir uns ihre Entstehung klar machen, können wir den Formen-

[1]) Bogdanowitsch, Petermann's Mitteil. 1892, S. 52.

kreis derselben unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfassen. Nach unserer Ansicht ist die felsige Gebirgswüste der Anfang eines Vorganges, der in der ebenen Hamada oder Sserirwüste seinen Abschluss findet. Die Endstadien ebenso wie alle Zwischenglieder bestehen aus Bergen und Thälern, deren topographische Unterschiede durch die Wüstenkräfte immer mehr ausgeglichen werden und allmählich verschwinden. Von diesem Gesichtspunkt aus beginnen wir unsere Betrachtung mit den tiefen Schluchten der Felsenwüste.

Wir stehen am Steilrand eines 1000 m hohen Plateaus, am Fuss der sedimentären Schichtentafel der südlichen Galala in Afrika, des grossen Balchan in Centralasien oder am Fuss der ungegliederten Granitwand des Sinaigebirges. Unser Auge folgt dem steilen Absturz, der sich wie eine Mauer aus dem fast horizontalen Vorlande erhebt, und es scheint, als ob nirgends eine Pforte in die Felsenfeste hineinführte. Wir reiten meilenweit am unersteiglichen Gebirgsfusse dahin, ohne eine Aenderung in der Steilheit der Felsen, in der Horizontalität des Vorlandes zu bemerken. Da öffnet sich plötzlich eine schmale Kluft, oft nur ein paar Meter (Bild 18 und 19) breit, aber vielleicht von 300 m hohen Wänden begrenzt, und aus der lichtvollen, sonnendurchglühten Wüste treten wir in den dunklen Schatten des Felsenspaltes. Der Boden besteht aus anstehendem Gestein, tiefe Wannen sind darin ausgekolkt, und vertrockneter Thonschlamm zeigt uns an, dass sie bisweilen mit Wasser ganz erfüllt sind. Vielleicht hat sich in einzelnen Kolken noch das Wasser erhalten und zwingt uns zu einer gefährlichen Kletterei über die Felsen des Ufers. Dann stehen wir wieder an einem 10 m hohen Steilrand, den wir nur mit Mühe erklettern, und so dringen wir in den Granit oder in die himmelhohen Kalkfelsen auf gefährlichem Pfade ein, bis eine allzuhohe, unersteigliche Stufe uns zur Umkehr zwingt.

Wir haben früher die Wolkenbrüche in der Wüste geschildert, die geradezu veranlasst durch steile Felswände, an deren Rand herniederstürzen, deren Wasser riesengrosse Wirkungen hervorbringt, um dann rasch zu versinken und zu verdunsten. Diese eben geschilderten unheimlichen Schluchten sind das Werk solcher Wolkenbrüche. Vom Wasser glatt geschliffen, von mitgerissenen Steinen ausgekolkt, liegt dann die schattige Schlucht vielleicht jahrzehntelang trocken, ehe sie wiederum ein Regenguss durchflutet.

Kein Wunder, dass jetzt die trockene Verwitterung ihr Werk beginnt. Das Wasser verdunstet, die kalte Luft fliesst heraus und der vorbeisausende Wüstenwind wirkt als Aspirator. Kleine verwitterte Gesteinsbröckchen fliegen mit heraus, Salz effloresciert aus den Felsen, hebt zarte Splitter ab, und die vorher glattgeschliffene Felswand wird rauh. Einzelne Blöcke brechen nieder und liegen am Grunde der Schlucht scharfkantig und locker übereinander. Da stürzt ein neuer Wolkenbruch herab, seine kolossalen Wassermengen räumen die Schlucht vollkommen aus und breiten die kaum entkanteten Bruchstücke über die vorliegende Wüstenebene. Ein trockenes Delta (s. Bild 31), viel-

fach durchfurcht, zeigt uns die Mächtigkeit des aufgehäuften Schuttes. Neue Regen bringen den Schuttkegel zum Schwinden und breiten seine Steinmassen facherartig so lange aus, bis er fast unmerklich mit der ebenen Kieswüste verschmilzt.

Die Schlucht ist weiter geworden, das Wasser hat manche Felswand untergraben, trockene Verwitterung und Deflation beginnen wiederum für Jahre hinaus ihr Werk. Der Wind fegt jetzt schon heftiger durch die Thalschlucht. Temperaturdifferenzen können an den Felsen ihre zerstörende Thätigkeit beginnen, und damit ändert sich die Form der Erosionsrinne. Zwar wird alles gröbere Gesteinsmaterial immer noch nur durch die Wüstenregen herausbefördert, aber die Masse von Gestein, die ein Regenguss alle zehn Jahre einmal innerhalb einer Stunde tragen kann, wird allmählich immer mehr übertroffen durch die Menge feiner Stäubchen und zarter Splitter, kleiner Sandkörner und flacher Scherben, die tagtäglich der Wind hinausführt.

Wir betreten ein solches Thal, an dessen Wänden trockene Verwitterung und Deflation arbeiten, und seltsame Bilder überraschen uns bei jeder neuen Wendung. Auf der trockenen Thalsohle (s. Bild 32) sehen wir hier tiefausgekolkte Löcher, daneben aber die glatten Flächen des Sandschliffs; hier hat sich ein Rest von Flussschotter (Bild 40) gehalten, dort liegen freigeblasene Felsblöcke (Bild 6) labil und wackelig übereinander. Säulengänge und Steinzapfen verzieren die Wände, ganze Flächen sind mit Bienenwabenstruktur bedeckt, und ein weites Amphitheater, von hohen Steilwänden halbkreisförmig umgrenzt, öffnet sich plötzlich an einer Biegung der Schlucht. Wir dringen weiter vor und sehen einen hohen Steinpfeiler durch Verwitterung und Deflation halb aus der Felswand herauspräpariert, weiterhin erhebt sich eine elegante Säule (Bild 1) aus anstehendem Gestein von der Thalsohle bis hinauf zum Rande der Schlucht. Würden beständige Regenwasser das Uadi durchströmen, so wäre eine solche Steinsäule niemals entstanden, und wenn die Erosion die wichtigste Transportkraft wäre, so hätte sie den Sockel der Säule längst durchgesägt.

Wir suchen einen Ausgang aus dem Thal (Bild 21 und 27), aber vergeblich klettern wir an den überhängenden Felswänden empor, nirgends erreichen wir die darüber sich ausdehnende Hamada. Drei Tage drang Schweinfurth in das Uadi Rischrasch hinein, ohne einen Ausweg zu finden.

Oft zweigen sich tiefe Seitenthäler ab, aber wenn wir sie verfolgen, so treffen wir eine glattwandige Bucht (Bild 21), eine Sackgasse weit und rund, wie eine Cisterne, aus der uns auch kein Ausgang hinausleitet, oder aber sie führt in weitem Bogen um einen grossen Felsenpfeiler herum wieder nach dem Hauptthal. Ein europäischer Beobachter würde niemals auf die Idee eines »Labyrinthes« gekommen sein, während in Aegypten das Prinzip eines labyrinthischen Gangsystemes ohne Weiteres aus der Natur der Uadischluchten herausgelesen werden konnte. Plötzliche Thalwendungen, rätselhafte Kreuzwege, unerwartete Thalenden und vielverschlungene Windungen begegnen uns

in jedem echten Wüstenthal und bieten der Erklärung durch blosse Wassererosion grosse Schwierigkeiten. Nur wenn wir das Wüstenklima mit seinen seltenen Wolkenbrüchen und seinen häufigen Stürmen kennen, dann sehen wir die Ursachen so rätselhafter Erscheinungen.

Wesentlich für das Zustandekommen dieser Thalformen ist es, dass die Deflation beständig das durch trockene Verwitterung gelockerte Material forträumt, während die Wassermassen der seltenen Regen zwar mit riesiger Gewalt auf einen Punkt zusammenstürzen, dann aber rasch verlaufen, versickern und verdunsten.

So können trennende Felsenmauern sich zwischen benachbarten Thalsystemen lange Zeit halten, es können aber auch Uadi-Labyrinthe an irgend einer Stelle miteinander verbunden werden, die keineswegs durch den Abflusslauf des Wassers vorgezeichnet ist.

Haupt- und Nebenthal sind in unseren Bergländern scharf geschiedene und deutlich trennbare Begriffe; in der Wüste ist das nicht immer der Fall. Güssfeld[1]) macht darauf aufmerksam, dass oft die verschiedenen Uadi-Arme gleichwertig sind und ein Hauptthal nicht zu erkennen ist. »Vielfach ist man stundenlang darüber im Unklaren, ob man sich in steigender oder fallender Richtung bewegt, da die Gleichwertigkeit der Thalabschnitte die Vorstellung von Haupt- und Nebenthälern hinfällig macht.«

Während wir ein Uadi thalabwärts verfolgen, beginnt mit einem Male der Thalboden anzusteigen, und wir müssen eine flache Bodenschwelle überschreiten, um wieder thalabwärts zu kommen.

Am besten nivelliert und untersucht ist in dieser Hinsicht das Uadi Usboi in Transcaspien. Lange Zeit für ein altes Bett des Oxus gehalten, stellt sich uns in diesem auf- und absteigenden Uadisystem, dessen Rinnen bald tief eingeschnitten, bald ganz verflacht erscheinen, das eine Strecke lang typische Erosionsformen zeigt, dann wieder jeder topographischen Analyse spottet, ein ganz ausgezeichnetes Beispiel eines stark denudierten Wüstenthales dar.[2])

Diese ungemein befremdende Erscheinung wird naturgemäss umso leichter eintreten, je älter ein Wüstenthal ist, und je mehr die ursprüngliche Regenschlucht durch Deflation erweitert und verflacht worden ist.

Ehe wir diese Endstadien der Wüstenthalbildung betrachten, möchte ich auf eine interessante Kombination aufmerksam machen, die dann eintritt, wenn in der Tiefe einer grossen Uadischlucht ein beständig strömender Fluss

---

[1]) Güssfeld. Peterm. Geogr. Mitt. 1877. S. 253—7.

[2]) Das Oxusproblem historisch und geologisch betrachtet, Peterm. Geogr. Mitt. 1898, und G. Böhm, Reiseskizzen aus Transkaspien, Geogr. Zeitschrift 1899, S. 246. — Trotzdem G. Böhm die Tragweite meiner hierüber angestellten Studien angezweifelt, ohne auch nur den Versuch zu machen, das Problem näher zu beleuchten oder seine eigene Auffassung zum Ausdruck zu bringen, kann ich nur wiederholen, dass der Usboi niemals ein altes Oxusbett gewesen ist oder sein konnte.

als Transportkraft zur Verfügung steht. Da es sich bei der Thalbildung wesentlich darum handelt, dass verwittertes Gesteinsmaterial transportiert wird, so zerfällt dann ein solches Thal in zwei übereinander liegende, genetisch verschiedene Horizonte. Von Spanish Point in Arizona blicken wir 2000 m tief hinab auf den rotbraunen Coloradostrom (s. Bild 38), dessen Fluten, über das felsige Flussbett rauschend, gewaltige Massen von Sediment hinaustragen nach dem Californischen Golf. Auf lange Strecken hat sich der Fluss eine enge gewundene Klamm in die Gneissfelsen und die algonkischen Sandsteine geschnitten, und diese Erosionsrinne trägt alle Merkmale vorwiegender Wasserwirkung; dass freilich auch in diesem Spalt die Thätigkeit des Windes eine Rolle spielt, beweisen die spiegelglatt geschliffenen Granitstücke, welche von den Teilnehmern der Exkursion mitgebracht wurden. Im schroffen Gegensatz zu der unteren Erosionsrinne steht aber die Topographie des höheren Thalabschnittes. Amphitheater von 5—8 km Halbmesser (Bild 1) dringen mit 1000 m hohen Steilwänden in das Plateau hinein, trockene Verwitterung bringt überall zerstörende Wirkungen hervor, und lange Rinnen abgestürzter Steine führen hinab bis an das Ufer des Stromes, der das ihm zugeführte Material ergreift und mit sich führt. So wirken hier Wind und Wasser gemeinsam, um das grossartigste Thal der Erdrinde zu bilden.

Aus der bisherigen Schilderung der Entwicklungsstadien eines Wüstenthales wird deutlich zu erkennen sein, dass es mir ferne liegt, die Thätigkeit der Wassererosion zu unterschätzen. Aber ich glaube auch gezeigt zu haben, dass nicht der geringste Grund vorliegt, für die Bildung dieser tiefen Uadi und Cañons ein anderes Klima anzunehmen, als heutzutage in der Wüste herrscht. Es ist wiederholt, zuletzt von A. Rothpletz behauptet worden, dass nur ein »tropisches« Klima mit grossen absoluten Niederschlagsmengen das Relief der Wüste erklären könne, und Hull hat für Syrien und Arabien geradezu von einer »Pluvialperiode« gesprochen.

Aber diese Anschauung nimmt keine Rücksicht auf die thatsächlichen Erscheinungen, die einerseits im Aequatorialgebiet, andererseits in der Wüste beobachtet werden. Wenn Cañons und tiefe Uadischluchten ein Werk des Tropenklimas wären, so müsste man sie innerhalb des regenreichen Aequatorialgürtels finden und nicht in der wasserleeren Wüste. Die Erosionskräfte des regenarmen Wüstenklimas sind andrerseits vollkommen ausreichend, um die tiefsten Thalspalten zu bilden, und es liegt nicht der geringste Grund vor, hypothetische Wasserfluten anzunehmen, die noch niemand gesehen hat.

Alles, was an einem Uadi an die Erosionsformen erinnert, die wir in der regenreichen gemässigten und der noch niederschlagsreicheren Tropenzone beobachten, das halte auch ich für eine Wirkung des fliessenden Wassers. Aber die Wüstenthäler zeigen daneben noch andere Eigentümlichkeiten, wie man sie durch fliessendes Wasser bei uns nicht entstehen sieht — und diese Charaktere führe ich auf die Deflation zurück.

Die abtragende Thätigkeit des Windes muss natürlich in dem Masse zunehmen, je weiter die Uadibildung vorschreitet, je leichter die Deflation Zugang findet. Beständig wird die Höhe des Plateaus durch den Wind erniedrigt, von allen Seiten dringen Uadis in die Gebirgswelt hinein und lösen dieselbe in einzelne Berggruppen auf. Indem die Amphitheater sich rückwärts vergrössern, und die Sackthäler benachbarter Uadis endlich sich berühren, werden Bergzüge zu isolierten Berginseln. Von dem Granitmassiv lösen sich einzelne Pfeiler ab und steigen wie hohe Pagoden (Bild 4) aus dem Sandmeer heraus; Eruptivgänge bilden das harte Skelett weit hinausragender Bergzüge, und von dem Plateaurand der Hamada lösen sich Zeugenberge (Fig. 24 und 26) ab, welche die frühere Ausdehnung andeuten. Könnten wir aus der Vogelperspektive auf eine Zeugenlandschaft herabblicken, so sähen wir aus dem Rand des Tafellandes zahllose vielgestaltige Lappen und Arme heraustreten, die entweder noch durch die härtere Deckplatte kontinuierlich mit dem Plateau verbunden sind, oder sich von diesem losgelöst haben und in wechselndem Abstand als ausgebuchtete oder kreisförmige Inselberge vor demselben stehen. Jeder einzelne Zeugenberg hat denselben Schichtenaufbau wie der benachbarte Plateaurand. Von unten bis zur schützenden Dachplatte folgen in buntem Farbenwechsel genau dieselben Schichten übereinander. Aber keine Thalrinne mit den Spuren fliessenden Wassers trennt ihn von dem Plateau, sondern eine gleichförmige Ebene, ausgetieft durch den Wind.

Man beobachtet Zeugen in allen Grössen, von 10 cm bis zu 20 m Höhe, und immer entspricht die Höhe des abgetrennten Felskegels dem Abstand zweier härterer Bänke, getrennt durch weicheres Gestein, in dem gegenüberliegenden Tafelland. Für die Bildungsverhältnisse sind gerade diese Miniaturzeugen von der allergrössten Bedeutung, denn so kleine und zierliche Felsformen würden sich unter dem Einfluss der trockenen Verwitterung in der Wüste nicht erhalten haben, wenn sie unter einem der Wüste fremden, also prähistorischen Klima gebildet worden wären. Sie sind Kinder des Wüstenklimas und bilden sich immer aufs neue, wenn ältere Zeugen zu Staub zerfallen und in alle Winde geweht worden sind.

Und so finden wir die Zeugenberge selbst in allen Stadien der Bildung und des Verfalles nebeneinander, sie lösen sich vom Tafellande ab und lösen sich wieder vollkommen auf, um von einem neuen Zeugengürtel ersetzt zu werden, der im engeren Kreise das Plateau umgiebt. Aber indem sich immer neue Zeugenringe ablösen, wird nach und nach das ganze Tafelland zerstört, und wenn der letzte centrale Zeugenberg vom Winde abgetragen worden ist, dann wird die Oberfläche der Hamada von einer Schicht gebildet, die bis dahin die Basis der Zeugenlandschaft dargestellt hat.

Damit sind aber auch die steilwandigen Thäler verschwunden, die zwischen den Zeugenbergen beginnend, tief hinein in das Tafelland drangen. Ein flaches kaum merkliches Gesenk, durch reicheren Pflanzenwuchs noch immer von der

vegetationslosen Umgebung sich abhebend, bildet die letzte Spur eines Thales, das einstmals von steilen Felswänden und weiten Amphitheatern überragt war. Indem die Berge immer mehr verschwinden, werden die Niederschläge seltener, und schliesslich streicht der Samum ungehindert über die weite eingeebnete Wüste und nimmt mit sich die letzten verdorrten Büsche und die letzten Spuren der im Boden dahinkriechenden Wurzeln. Das Endziel der Deflation ist erreicht und eine trostlose, ungegliederte Wüstenebene, die Hamada oder der Sserir streckt sich tagereisenweit nach allen Seiten.

Ueberblicken wir jetzt noch einmal alle die geschilderten Uebergänge von einer steilwandigen engen Wasserschlucht bis zum amphitheaterbesetzten Labyrinth und der flachen, nur noch durch einen Streifen Pflanzenwuchs angedeuteten Uadisenke, so wird man verstehen, dass man sehr verschiedenartige Dinge »Uadi« oder »Oued« nennt (im Hererolande Omiramba)[1], und dass der Reisende, der nur einen Einzel-Typus dieser langen Formenreihe kennt, daraus Schlüsse ziehen kann, die für die ganze Reihe nicht gelten. Es ist oft ungemein schwer, im einzelnen Fall Wassererosion und Deflation von einander zu trennen, besonders wenn in einem Thal vor kurzem ein Regenguss niedergegangen ist. Nur durch den Vergleich vieler Thalformen lässt sich eine allgemein giltige Ansicht bilden.

Viel seltsamer als der soeben geschilderte Entwicklungsgang eines linearen Uadisystems ist die Bildung jener vollkommen isolierten Thalkessel, die wir mitten in der Wüste antreffen, und die im engeren Sinne als Oasen bezeichnet werden. Das Auftreten eines wasserreichen und damit kulturfähigen Gebietes inmitten der wasserleeren Wüste ist nicht allein vom Standpunkt der Kulturgeschichte, sondern ebenso sehr von dem der Geologie ein frappantes und hochwichtiges Phänomen. Frühere Untersuchungen beschäftigten sich vorwiegend mit der Frage, woher der Wasserreichtum der Oasen stamme, während für uns das topographische Problem in den Vordergrund rückt. In meinem Wüstenbuch habe ich das Oasenproblem zweimal gestreift, wagte aber nicht, darauf einzugehen, weil ich mir der Schwierigkeiten wohl bewusst war, die eine ausführliche Diskussion mit sich bringen musste. Seither hat Sickenberger auf der ägyptischen Oasenexpedition 1893 an Ort und Stelle meine Ansichten geprüft, und ich selbst habe manches gesehen und studiert, das mit dem Oasenproblem auf das Engste zusammenhängt, so dass ich jetzt in der Lage bin, folgendes auszuführen:

In einem durch regelmässige Niederschläge bewässerten Gebiet kann unter natürlichen Verhältnissen kein Punkt des trockenen Landes unter dem Meeresspiegel liegen. Wenn manche Teile von Holland hiervon eine Ausnahme machen, so sind die Gründe hierfür bekannt. Aber selbst wenn durch tektonische Grabenversenkung eine Erdscholle tief unter das Niveau des Meeres-

[1]) H. Hahn, Petermann's Mitteil., 1873, S. 99.

spiegels sinkt, so wird der dadurch entstandene Hohlraum sofort von den fliessenden Gewässern erfüllt und das normale Abdachungsniveau der dränierten Landschaft wieder hergestellt. Der Boden des Gardasees liegt 300 m unter dem Meeresspiegel, aber das Wasser der Sarca hat von Arco bis Mantua und Adria ein gleichsinniges Gefälle erzeugt.

Für ein abflussloses Wüstengebiet hat dieses Gesetz keine Giltigkeit. Die untere Grenze der Atmosphäre sinkt hier vielfach unter das Niveau des Weltmeeres. Wüstenboden und Wüstenseen bilden die wirklichen Depressionen der Erdoberfläche. Die Grabenversenkung des Jordanthales reicht im Ghor 793 m unter den Meeresspiegel, obwohl die Sedimente des Flusses gewiss schon eine beträchtliche Mächtigkeit am Seeboden erreichen. Das Tote Meer wäre in einem dränierten Klima wahrscheinlich fünfmal so lang als heute und läge 240 m über dem Meere; jetzt liegt es 394 m unter dem Meeresspiegel. Die ausgedehnteste Depression ist die Caspische, sie umfasst ein Areal von über 10 000 Quadratmeilen, ihre tiefste Stelle liegt 922 m, der Wasserspiegel des Caspi 26 m unter dem Meere. Die küstenfernste Depression finden wir im Tarimbecken, 42,5 N. Br. und 89,5 Ö. L. G. Rings umgeben von hohen Gebirgen, trennt sie eine 2400 km breite Landstrecke von dem Golf von Petschili und ebensoviel vom Indischen Ozean. Diese tibetanische Depression ist besonders deshalb so interessant, weil selbst die kühnste Spekulation ihre Bildung nicht durch neptunische Kräfte erklären kann.

Zwischen diesen Extremen giebt es zahllose vermittelnde Beispiele. Wenn wir (nach Stielers Handatlas 1892 No. 67) tabellarisch die Niveauverhältnisse der nordafrikanischen Oasen mit dem Niveau des umgebenden Plateaurandes vergleichen, so ergiebt sich folgendes Bild:

Oase	Niveau des Bodens	des Plateaurandes	Oasentiefe
Aradj	— 70 m	+ 120 m	190 m
el Fayum	— 40 m	+ 293 m	333 m
Siwah	— 30 m	+ 70 m	100 m
U. Natrûn	— 2 m	+ 205 m	207 m
Khargeh	+ 52 m	+ 374 m	426 m
Dakhel	+ 58 m	+ 449 m	507 m
Farafrah	+ 76 m	+ 242 m	318 m
Bahrieh	+ 112 m	+ 187 m	299 m

Aus den von Zittel aufgenommenen Profilen der grossen Oasen geht mit Sicherheit hervor, dass weder Grabenversenkungen noch Kesselbrüche das Relief der Oasen tektonisch erzeugt haben können. Vielmehr stimmen alle Beobachter darin überein, dass die Massendefekte durch Denudation erzeugt worden sind, und die Zahl der Rubrik »Oasentiefe« lässt leicht erkennen, welche Mächtigkeit die denudierte Gesteinsmasse besass.

Auf Grund der Beobachtungen von Rohlfs und von Zittel entwirft Haehnel[1]) folgende Schilderung von Farafrah: Nähert man sich von Norden der Ein-

[1]) Haehnel. Die Morphologie und Hydrographie der Oasen in der Sahara. Programm des Gymnasiums der K. Waisen- und Schulanstalt, Bunzlau 1895. S. 3.

senkung, so gelangt man, ohne dass vorher das geringste Anzeichen bemerkbar gewesen wäre, an einen jähen Steilabfall, von dem aus man in beschwerlichem Abstiege zwei terrassenförmige Absätze und dann ein merkwürdiges Labyrinth weisser, aus Kreide bestehender Zeugen zu überwinden hat, ehe man das Oasenthal erreicht. Der südliche Rand ist zwar noch höher, als der nördliche, doch der Uebergang zu der Depression ist nicht so unvermittelt, wie an den anderen Seiten, gleichwohl aber lässt sich der Abfall des Terrains noch genau erkennen. Farafrah liegt 76 m hoch, der Ostrand 248 m, Westrand 275 m, Nordrand 198 m, Südrand 368 m.

Sickenberger schickt mir nun folgenden Bericht über seine Studien in den Oasen: der Steilrand der libyschen Oasen, als nördliches und südliches Randgebirge erscheinend, ist nichts als ein steiler Abbruch der Londinienhochfläche, darunter steht die Kreide mit Exogyra Overwegi von Kuckur bis Dakhel, und im Westen dieser Oase mit grossen Schutthalden überdeckt, an. Ein Süd- und Südwestrand existiert nicht mehr. Der Boden dieser Oasen verläuft als leicht ansteigende, mit äolischen Sandsteinbildungen bedeckte Ebene, und erst weit im SW. von Kuckur gerade gegenüber dem NO.-Londinien und der Overwegi-Kreide wurde Londinien wieder von Willcocks und Sickenberger bei Dunkul konstatiert. Südwestlich von Khargeh und südlich von Dakhel kam Sickenberger drei Tagereisen weit nicht aus den äolischen Sandsteinen heraus, fand jedoch in den aus SW. kommenden Uadis oftmals kleine Londinienblöcke, die allem Anschein nach vom Steilrand herabgeglitten waren. Der über das Hochplateau hinwegfegende N.-Wind, der hier fast stets weht, bearbeitete den nördlichen Abhang des Kessels nicht oder nur sehr schwach und wirbelte hier nur runde Buchten aus, während er mit voller Macht auf den gegenüberliegenden Steilrand traf und ihn allmählich zum Verschwinden brachte, indem er ihn in eine langsam ansteigende, den Wind ablenkende Ebene verwandelte. Die nach S. und SW. getriebenen Kalksteinfragmente und der Kalkstaub cementierten den Quarzsand, der durch den S.- und SW.-Chamsin in die Depression aus der Libyschen Wüste hereingeweht wurde, zu äolischem Sandstein, der, irrtümlich für Nubischen Sandstein gehalten, in den Oasen weitverbreitet ist.

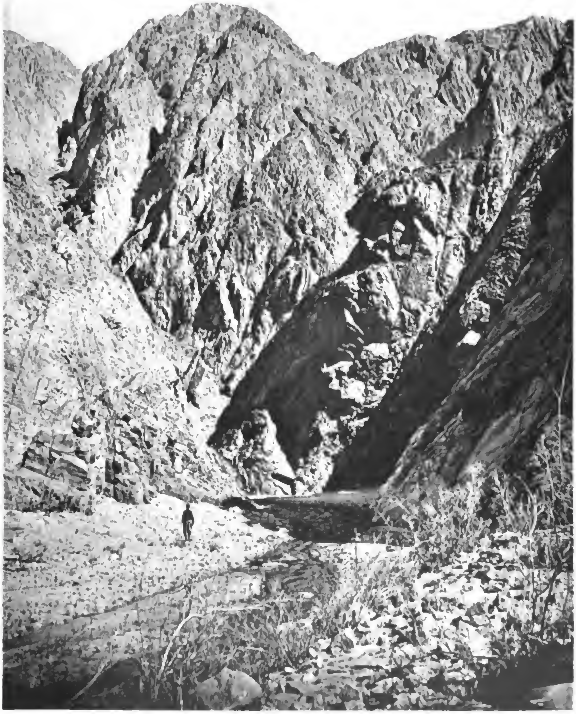
Aegypten ist ein Tafelland von sehr einfachem, tektonisch wenig gestörtem Bau, aber Brüche und Falten sind doch an vielen Stellen leicht zu beobachten. Ich rede nicht von den sehr intensiven Bruchzonen auf der Sinaihalbinsel und an den Rändern des erythräischen Grabens; nicht von den vielen Verwerfungen des Uadi Arabah und den grossen Brüchen, die bei St. Antonius den Steilrand der Galala durchschneiden. Selbst in der näheren Umgebung von Cairo finden wir viele tektonische Störungen. Im Uadi Hoff sind 20 m breite Kalkspathgänge (der sogenannte ägyptische Alabaster ist Kalkspath) auf Klüften ausgeschieden. Die Pyramide des Cheops erhebt sich auf einer flachen, gegen das Nilthal einsinkenden Flexur, und nördlich davon, bei Abu Roasch habe ich mit G. Schweinfurth ein Kreidegebiet untersucht, das



16. Verwitterter Granit in Centralasien.



17. Abschuppung und Höhlenverwitterung am Granit in Texas.



18. Beginn einer Uadischlucht im Sinaigranit.



19. Beginn einer Uadischlucht im Nubischen Sandstein.



20. Steinzapfen am Felsentempel von Petra.



21. Blindende des Uadi Beni Sur.



22. Drei Randbuchten am Nordarm des Wadyen.



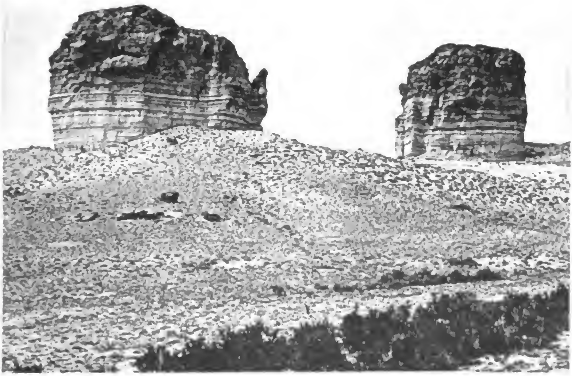
23. Pilzfelsen in der Sierra del diablo.



24. Zeugenberge in der Sierra del diablo (Texas).



25. Pilzfelsen Ras el Kadi bei Chargeh.



26. Zeugenberge am Green River.

von überaus verwickeltem tektonischen Bau, gefaltet und verworfen ist. Es handelt sich hier um eine oder zwei domförmige Kuppeln, die 150 m hoch aus dem ebenen Sserirland der Libyschen Wüste aufragen, und deren fossilreiche Schichten zum Teil in 50° Neigung als gebogene Schalen erscheinen.

Dass tektonische Störungen selbst bis in die neuste Zeit hereinreichen, geht aus einer Beobachtung Sickenbergers hervor, der mir schreibt, dass gegen 1890 im Nilthal, von Siut aufwärts, eine Senkung eintrat, welche die Moscheentürme leicht nach S. neigte und die Mauern des im Bau begriffenen neuen Postgebäudes in Siut zum Klaffen brachte, so dass Reparaturen nötig wurden.

Ich glaube nun, dass auch die jetzt von den Oasen eingenommenen Stellen des einst ungestörten libyschen Kalkplateaus von Verwerfungsspalten durchzogen werden, die vielleicht nur eine ganz geringe Sprunghöhe, aber dafür eine sehr grosse Tiefe erreichen. Alle Quellen der grossen Oasen sind Thermen, deren Temperatur nach Sickenberger 28°—40° C. beträgt; und selbst die aus der versiegten römischen Wasserleitung Omm el delandeb in der »kleinen Oase« ausströmende Luft fand er 38° warm, bei einer Lufttemperatur von 18° C.

Wenn wir die mittlere Jahrestemperatur der Oasen zu 22° C. rechnen, so müssen die heissesten Quellen, die darin auftreten, aus einer Tiefe von rund 600 m aufsteigen, damit sie mit 40° an die Erdoberfläche gelangen. Rechnen wir hierzu die Mächtigkeit der den Steilrand der Oasen bildenden Schichten, so kommen wir zu der Annahme, dass 900 m tief reichende Spalten an den Stellen der heutigen Oasen das libysche Plateau durchschnitten haben müssen. Sickenbergers Beobachtungen über die Lage der Schichten auf beiden Seiten des Oasenrandes machen es sogar wahrscheinlich, dass auf diesen Spalten eine Verwerfung der Erdschollen erfolgt ist.

Da kein Thal und kein schotterführendes Uadi aus den Oasen nach dem Nil oder nach dem Meere führt, da der vielgenannte Bihar-bela-ma auch nur ein unbedeutendes, rasch ausklingendes Uadi ist, so kann die in den Oasendepressionen fehlende Gesteinsmasse nicht durch Erosion des fliessenden Wassers hinausgeschafft worden sein.

Wenn wir unter diesen Umständen die Deflation des Windes für die Kraft halten, welche die Oasen ausgehoben hat, indem sie längs der dort lokalisierten Klüfte und Spalten das durch trockene Verwitterung gelockerte Gesteinsmaterial abtrug und die Wunden der Erdrinde immer mehr erweiterte, so sind es nicht allein theoretische Erwägungen, die uns dazu führen, sondern auch positive Beweise: Längs der Ostseite der Oasen findet sich eine Reihe von Zeugenbergen, die in ihren Schichten vollkommen übereinstimmen mit der Schichtenfolge des gegenüberliegenden Steilrandes. Omm el Ghennaiem, sowie die im Westen von Khargeh aus dem Sandmeer auftauchenden Zeugen von »el Hagar el Aleiad« konnten nur durch Deflation von dem Plateau abgelöst werden, und selbst wenn die Wolkenbrüche der Wüste hierbei mithalfen,

so war doch ihr Wasser niemals imstande, auch nur ein Sandkörnchen aus den Oasen nach dem Nil und dem Meere zu tragen, weil sie in dem Oasengebiet versiegten.

In vollkommener Uebereinstimmung mit dieser Anschauung steht es, wenn Gilbert[1]) in Arkansas abflusslose Seebecken durch Deflation entstehen lässt und das ausgeblasene Gesteinsmaterial noch an der Leeseite der Depression angehäuft sah.

Halten wir Umschau über die Depressionen der heutigen Erdoberfläche, so sehen wir an zahllosen Stellen tektonische Vertiefungen der Lithosphäre, aber in der Regel verhüllt durch das Niveau der Hydrosphäre und langsam ausgefüllt mit deren Sedimenten. Nur in den abflusslosen Gebieten innerhalb der beiden Wüstengürtel vermag die Hydrosphäre die Wirkungen tektonischer Senkungen nicht auszugleichen, und nur in der Wüste reicht die untere Grenze der Atmosphäre unter das Meeresniveau. Keine Wasserrinne zeigt uns den Weg aus diesen »Wannen« nach dem Ozean, und damit fallen alle Hypothesen hinweg, die ihre Bildung auf die Erosion fliessenden Wassers, oder die Abrasion eines Meeres zurückführen. Für uns sind diese trockenen tektonischen Depressionen zwar eine Folge des Gebirgsbildungsprozesses, aber ihre Persistenz eine Folge des abflusslosen Wüstenklimas. Neben diesen, durch tektonische Senkung entstandenen Depressionen giebt es aber eine Anzahl von Hohlformen der Erdrinde, die nicht durch Dislokation, sondern nur durch Denudation erklärt werden können. Eingesenkt in das ebene nordafrikanische Tafelland, ringsumgeben von hohen Abstürzen, ohne Abflussrinne nach dem Meer, zeigen sie zwar auch die Spuren tektonischer Brüche, aber noch viel deutlicher die Wirkungen abtragender atmosphärischer Kräfte. Und wenn wir in der Wüste den Wind zahllose kleine seltsame Hohlformen erzeugen sehen, wenn keine andere Naturkraft die grossen Massendefekte der Lithosphäre bilden konnte, dann müssen wir auch in den Denudationsdepressionen der libyschen Oasen die Wirkungen der Deflation erblicken.

Mit überzeugenden Gründen hat F. von Richthofen gezeigt, dass die 200 m mächtigen Lösslager Asiens vom Winde aufgehäuft worden sind. Wenn man nach den Berechnungen v. Tillo's in Asien 3% = 1 324 000 qkm Lössboden kennt und derselbe nur eine durchschnittliche Mächtigkeit von 30 m besitzt, so ergiebt doch eine ganz einfache Ueberlegung, dass die 40 000 cbkm äolisch abgelagerter Lössmassen einem ebenso grossen Massendefekt durch äolisch abtragende Kräfte entsprechen müssen. Und man könnte mit den äolisch abgelagerten Sanddünen der Libyschen Wüste gewiss noch hundert weitere Oasenkessel ausfüllen. Es ist daher eine ganz naturgemässe Weiterführung der F. von Richthofenschen Lösstheorie, wenn ich betone, dass jedem Lösslager ein gleiches durch Deflation entstandenes Thalvolumen entsprechen muss. Und so

[1]) Gilbert. Lake Basins created by Wind-Erosion. Journal of Geology 1895, III, S. 47.

knüpft sich die Theorie von der äolischen Entstehung der libyschen Oasen an das Problem von der Entstehung äolischer Sand- und Staubmassen ungezwungen an.

Wie eine kleine Dekoration an einem grossen Bauwerk mutet es uns an, wenn wir jetzt zum Schluss die wetzende, korradierende Wirkung des sandbeladenen Windes besprechen. Ueberall in der Wüste zu beobachten, aber in ihrer denudierenden Wirkung stark überschätzt, ist die schleifende Thätigkeit der windgetragenen Sandkörner eine charakteristische Begleiterscheinung der Deflation, und jeder Dreikanter beweist, dass der Wind trockene Sandkörner aufgehoben und verfrachtet hat. Wie der mit Steinen beladene Wagen, der das Gestein aus einem Wegdurchschnitt herausführt, mit seinen gehemmten Radreifen eine charakteristische Schleifspur hinterlässt, ohne dass jemand behaupten könnte, dass der ganze Wegdurchschnitt durch gleitende Radreifen ausgefurcht worden sei, so bezeichnet der Sandschliff den Weg der Deflation und wird dadurch von hohem symptomatischen Wert, während seine denudierende Bedeutung nur geringfügig ist. Nur trockener Sand kann vom Wind aufgehoben werden und nur feste Gesteine tragen Sandschliffe als bleibende Spuren einstiger Sandstürme. Härte-Unterschiede des Gesteins äussern sich in Vertiefungen und Erhöhungen der geschliffenen Felsfläche. Geschichtete harte Kalke, deren Schichtung auf dem Querbruch kaum erkennbar ist, erscheinen wie kanneliert, wenn sie der Sandwind längere Zeit bearbeitet hat. Feldspathkrystalle in der harten Grundmasse porphyrischer Eruptivgesteine werden blatternarbig vertieft. Konkretionen und harte Versteinerungen werden herausmodelliert, aber fast immer mit Verlust aller feineren Skulpturen, denn der Sandschliff rundet im Allgemeinen alle vorspringenden Kanten, Ecken und Spitzen.

Niemals findet man die Sandschliffe mit Kritzen bedeckt, die den Gletscherschliffen ähnlich sehen, nur flachgerundete Furchen und Hohlkehlen können die Schliffflächen bedecken. Das so viel besprochene Problem der Facettengerölle ist wohl jetzt völlig aufgeklärt. Der anfänglich gemachte Versuch, die Kanten der Dreikanter mit den Windrichtungen parallel zu orientieren, ging von falschen Voraussetzungen aus. Denn die Fläche der Facettengeschiebe ist das Wesentliche und nur durch zwei sich schneidende Schliffflächen entsteht die Kante.

Die auf dem sandigen Boden regellos verteilten Gerölle werden durch die sich gabelnden und wieder konvergent zusammentreffenden Sandströme angeschliffen, und die entstandenen Schliffflächen verbreitern sich mehr und mehr. Ihre Mittellinie ist nicht notwendig parallel der Windrichtung in der Atmosphäre, sondern nur der durch viele Hindernisse abgelenkten Luftströmung am Boden und kann mithin rasch wechseln.

Die Dreikanter haben nur insofern eine hohe geologische Bedeutung, als sie uns untrügliche Beweise für einstige Deflationsvorgänge liefern, mögen wir sie in cambrischen Schichten von Lugnås oder im Buntsandstein von Thüringen finden.

Wenn der Sandsturm über die Wüste braust und seine Milliarden von Quarzkörnern gegen jedes Hindernis schleudert, dann entstehen sehr rasch Schleif- und Abnutzungsspuren an allerlei Gegenständen. Der Telegraphendraht auf der Strecke zwischen Aidin und Balaischen an der transcaspischen Bahn musste nach elf Jahren ergänzt werden, weil er durch wiederholte Sandstürme auf $^1/_2$ seiner ursprünglichen Dicke abgenutzt worden war; und im Oktober 1896 wurden erbsengrosse Steinchen in solcher Menge gegen die Lokomotive der Bahn geschleudert, dass der Lacküberzug wie von Schroten zerschossen war.

Aber alle diese Schleifspuren des wetzenden Sandes können nicht das Wüstenrelief erklären. Denn ehe der Wind Sand führt, hat er schon seine abhebende, abtragende Thätigkeit ausgeübt, und wenn über eine Felsenwüste der Samum hinwegbraust, dann findet er an zahllosen Punkten gelockerte Sandkörnchen, Thonstaub und Kalksplitter. Wie ein Besen fegt er die Felsen rein und nimmt mit sich alles, was seine Kraft zu tragen vermag. Und wenn er davongeeilt ist, treten wir an den Felsen heran und sehen voll Verwunderung rätselhafte Löcher und Säulengänge, sonderbare Pilzfelsen und weit überhängende Schichtenbänke, tiefe Felsenschluchten und merkwürdige Amphitheater — seltsame Wirkungen unsichtbarer Kräfte, problematische Felsformen eines uns ungewohnten Klimas. Meeresfluten, reissende Wasserströme und mächtige Wasserfälle hat man annehmen zu müssen geglaubt, um in der wasserleeren Wüste solche Verwitterungsformen zu erklären, ohne zu bedenken, dass eine gewaltige Kraft Tag und Nacht thätig ist, um jedes durch die Verwitterung gebildete Stäubchen vom Felsen abzuheben und durch die Luft davonzutragen. Der Samum ist es, der diese Wirkungen erzeugt; der Wind ist es, der Kesselthäler ausgräbt, tiefe Uadischluchten verbreitert, Säulengänge erzeugt und Zeugenberge von dem weitausgedehnten Tafelland abtrennt. Nicht wie ein Bohrer gräbt er sich mit seinen Sandwolken in die Felsenwüste hinein, sondern wie ein Besen fegt er über die Gesteinsflächen, und was durch andere Kräfte gelockert wurde, das hebt er spielend auf und trägt es flüchtig davon.

5. Die fliessenden Gewässer.

Die Menge der atmosphärischen Niederschläge innerhalb eines gleichartigen Witterungsgebietes wird nicht allein durch den Wassergehalt der Luft, sondern auch durch die Topographie des Landes bestimmt. Ebenen erhalten im Durchschnitt weniger Regen als benachbarte Gebirge, und auch die einzelnen Abhänge des Gebirges verhalten sich nach dieser Hinsicht verschieden. Es ist leicht verständlich, dass in der niederschlagsarmen Wüste solche begleitende Umstände eine noch grössere Rolle spielen, und dass ihr Einfluss geradezu bestimmend wird für Regen oder Regenmangel. Feste oder vorübergehende Ansiedelungen in der Wüste finden sich naturgemäss nur da, wo innerhalb einer Wüste Trinkwasser vorhanden ist, dieses aber ist ein äusseres Symptom für die Summe der dort fallenden Niederschläge.

Während also in Europa jeder bewohnte Ort, als meteorologische Beobachtungsstation, einen gewissen Mittelwert für die Niederschläge des umgebenden Landes festzustellen erlaubt, wird in der Wüste ein dauernd bewohnter Ort oftmals höhere Werte liefern als seine Umgebung. Daraus erklären sich viele scheinbare Widersprüche, und deshalb ist man geneigt, die Niederschlagsmenge in der Wüste für höher zu halten, als sie wirklich ist.

Tau und Morgennebel sind in Cairo und im Nilthal während des Winters ziemlich regelmässige Erscheinungen. Ist man frühzeitig auf die Citadelle oder an den Pyramiden hinaufgestiegen, dann überzeugt man sich allerdings leicht, dass der Nebel nur wie ein breiter weisser Fluss über dem fruchtbaren Alluvialboden lagert und an dem Wüstenrand abschneidet. Sickenberger hat bei seinem langjährigen Aufenthalt in Cairo dem Tauphänomen seine besondere Aufmerksamkeit zugewandt. Am Mittelmeer konstatierte er noch Tau 20 km landeinwärts, am Rand des Nilthales fand er Taufall 6 km weit, und an den libyschen Oasen 4 km weit von den vegetationsreichen Gebieten. Nach Schweinfurth merkt man gelegentlich auch mitten in der Wüste leichten Taufall daran, dass die Zeltwände feucht werden, und die Verbreitung von Helix desertorum giebt ungefähr ein Bild von der durch Tau ausgezeichneten Region.

Ganz ähnlich ist es mit der Verteilung und Häufigkeit des Regens. Die meteorologischen Aufzeichnungen von bewohnten Orten geben kein wahres Bild von der Niederschlagsmenge in der umgebenden Wüste.

Sickenberger erfuhr von den Oasenbewohnern, dass es am Rand der Oasen viel öfter regne als in der Wüste selbst, und doch hatte es in Kuckur westlich von Assuan von 1888 bis 1891 niemals geregnet und ein in der Nacht vom 9. bis zum 10. Februar 1893 anhaltender leichter Regen in Dakhel war der erste seit 10 Jahren.

Es ist nun allerdings eine vielbestätigte Erfahrung, dass solche Angaben der Beduinen nicht ganz wörtlich zu nehmen sind, aber es giebt Thatsachen, die es ganz entschieden beweisen, dass lange Jahre in der Wüste ohne einen Tropfen Regen verfliessen. In der Sserirwüste ist der Boden auf Tagereisen mit vollkommen runden und glatten Kieseln bedeckt, die allseitig freigeblasen, oft nur mit einer ganz kleinen Fläche auf dem Boden aufliegen. Der geringste Anstoss genügt, um jeden Kiesel zu bewegen. Die Oberfläche derselben ist in der Regel mit der braunen Rinde überzogen. Die Unterseite ist weder durch Insolation geschwärzt, noch durch den Sandwind geglättet. Selbst wenn nur zehn Jahre dazu gehören, um einen Kiesel oben zu bräunen, so ist doch klar, dass er während dieser ganzen Zeit unbeweglich liegen muss. Regelmässige Niederschläge von jenem stürmischen Charakter, wie sie in der Wüste beobachtet werden, würden jedesmal die Lage der Kiesel verändern und die Entstehung einer braunen und einer ungebräunten Seite unmöglich machen.

Zu einem ähnlichen Schluss drängt die Beschaffenheit der Schutthalden, die in der Wüste am Fusse steiler Wände aufgeschüttet sind. Sie bestehen oft hoch hinauf aus so locker übereinanderliegenden Steinbrocken, dass das Hinaufklettern überaus mühselig ist, während doch Regengüsse durch den mitgeführten Schlamm die Berührungsstellen der Steine verkleben und die Schuttkegel verfestigen. Ganz seltsam mutet es uns auch an, wenn wir mitten in der Wüste die Spuren eines Lagers finden, so frisch, als ob es gestern erst verlassen wäre, obwohl wir wissen, dass die Feuerstätte vor Jahren gebrannt hat Die Spur eines Wagens, den eine Goldsucherkarawane durch die californische Wüste führte, war nach 11 Jahren noch so frisch, als ob sie eben erst entstanden wäre.

Kamelspuren[1]) von 1877 waren 1892 noch vollkommen deutlich zu erkennen.

Solche Beispiele lassen sich noch vermehren, um die Anschauung zu belegen: dass die Wüste im Durchschnitt regenärmer ist, als die meteorologischen Beobachtungen an bewohnten Oasen in der Wüste vermuten lassen.

Die Regenmenge eines Gebietes findet ihren Ausdruck in der Höhe des Grundwasserspiegels. Alle Gesteine enthalten seit der Zeit ihrer Bildung eine gewisse Menge von Wasser. Seewasser enthalten die unter dem Meere gebildeten Sedimente. Fumarolenwasser finden wir in den Magmagesteinen, Flusswasser in den Kieslagern der Ebene. Dieser Wassergehalt tritt als Berg-

---

[1]) Foureau, Au Sahara. Ref. Pet. Geogr. Mitt. 1897, S. 175.

feuchtigkeit in den Steinbrüchen, als Grubenwasser in den Bergwerken zu Tage, und seine oberste Schicht, die durch die Niederschläge vermehrt ist, wird als Grundwasser bezeichnet. Bis zum Grundwasserspiegel reichen die Wurzeln der Bäume, und mit Grundwasser füllt sich nach einiger Zeit jede Vertiefung, die wir im Erdboden ausschachten.

Der Grundwasserspiegel nimmt in der Wüste ein sehr tiefliegendes Niveau ein. Aus den Berichten durch Wassermangel gefährdeter Expeditionen ist zu ersehen, wie oft man tiefe Gruben aushob, ohne eine Spur von Wasser zu finden. Brunnenbohrungen wurden bei Van Horn in Westtexas bis in 300 m Tiefe, bei Askabad in Transcaspien 660 m tief ausgeführt, ohne dass eine Spur von Wasser erschien.

In den Thälern, Uadis und Depressionen rückt der Grundwasserspiegel (die »Nappe artésienne«) höher, und darauf beruht allein die Möglichkeit, eine Wüste zu kreuzen. Jahrhundertelange Erfahrungen und die Auslese der durch Wassermangel missglückten Reisewege haben ein oft sehr weitmaschiges Netz von Karawanenpfaden ausgebildet, auf denen man sicher ist, durch Graben an bestimmten Stellen den Grundwasserspiegel zu erreichen. Die ankommende Karawane hebt eine Grube aus, die sich nach einigen Stunden mit Wasser füllt, und dann schüttet man den »Brunnen« wieder zu, damit die Stelle nicht durch Verdunstung versalzen kann.

Vielfach kann man beobachten, wie sich der Spiegel eines Wüstenflusses, nachdem dieser versiegt ist, in den Grundwasserspiegel des Uadi verwandelt. Stapff[1]) hat dies durch methodische Bohrungen in Südwestafrika direkt bewiesen. In der Oase Khargeh[2]) giebt es keine natürlichen Quellen, alles Wasser wird aus tiefen Brunnenschächten geschöpft, die wahrscheinlich in altägyptischer Zeit angelegt, kaum 2′ im Durchmesser hinabsteigen. 150 Schächte sind versandet, etwa 70 noch heute in Thätigkeit und der Wasserspiegel liegt 30—50 m tief. Die wasserführende Schicht algerischer Brunnen liegt 14—214 m tief.

Am Nordrand[3]) der Sahara, 24 km östlich von Leghuat, wurde 1889 in 127 m keine Spur von Wasser gefunden. Indem man sich der Oase el Golea nähert, hebt sich der Grundwasserspiegel und damit die Möglichkeit, Wasser zu erbohren.

Häufig giebt die Länge der Pflanzenwurzeln einen Massstab für die Tiefe des Grundwasserspiegels. Die Dünen am Rande der Karakum sind bei Perewal in ein Ruhestadium gekommen und durch Deflation vielfach eingeebnet worden. Auf solchen alten Dünenresten sieht man bindfadendicke Wurzeln von 10 m Länge wie ein riesiges Spinngewebe liegen. Beim Ausschachten des Sueskanals beobachtete Schweinfurth Tamarixwurzeln von 30 m Länge.

---

[1]) Stapff, Petermann's Geogr. Mitteil. 1887, S. 209.

[2]) Schweinfurth daselbst. 1875, S. 386.

[3]) Rolland, Hydrologie du Sahara algérienne. Paris 1894. Cap. I.

Die wasserreichsten Stellen des Grundwassers fördern ihren Ueberschuss als Quellen zu Tage, und dieselben Ursachen, die bei uns Quellen erzeugen, wirken auch in der Wüste. Zuerst der hydrostatische Druck, der das Aufsprudeln von Quellen am Fuss hoher Gebirge veranlasst. Die herrliche Quelle von St. Antonius am Fuss der 1500 m hohen südlichen Galala mag als Beispiel dienen, ebenso wie viele Quellen in den tiefen Thälern der Sinaihalbinsel.

Am Boden tiefer Depressionen kann der Grundwasserspiegel zu Tage treten, und eine flache Grube füllt sich rasch mit Wasser. Das ist der Charakter zahlloser sogenannter »Quellen« in der Wüste, die, ohne jeden Abfluss, nur soviel Wasser nachsickern lassen, wie oben verdunstet.

Im Uadi Tarfeh sickert (Bild 27) aus Kreidekalken, mit eingelagerten Zügen rundlicher Konkretionen, soviel Wasser zusammen, dass eine schattige Bucht mit herrlichem Trinkwasser erfüllt ist. Ursprünglich ein schmaler Spalt, ist die Kluft durch Deflation erweitert; und deutlich lässt sich erkennen, dass lösendes Wasser und abtragender Wind gemeinsam an der Bildung des seltsamen Kessels thätig waren.

Tritt das Grundwasser in schuttbedeckten Vertiefungen zu Tage, dann kann man durch Graben an geeigneten Stellen leicht Wasser finden. Zahllose sogenannte »Quellen« in der Wüste sind nichts anderes als derartige Sickerlöcher. Ein etwa fussbreites Loch in einem Schuttkegel an der Steilwand der nördlichen Galala bot mir, als ich fast verschmachtet dahin kam, mehrere Liter Wasser. Die Beduinen schütten nach dem Gebrauch solche Wasserstellen wieder zu, um die Verdunstung zu vermindern und dadurch die Versalzung des Wassers zu vermeiden.

Eine dritte Gruppe von Quellen steigt auf tektonischen Spalten empor und bringt die Temperatur der Schicht, aus der das Wasser stammt, mit an die Erdoberfläche. Am Hammam Pharaûn (Sinaiküste) und Hammam Musa entspringen schwefelwasserstoffhaltige Thermen. Sämtliche [1]) Brunnen der libyschen Oasen liefern Thermalwasser. In Dakhel und Khargeh schwankt die Temperatur von 35°—38° C., in Farafrah sinkt sie auf 26° C., und in Beharieh haben natürliche Quellen eine Wärme von 24—36° C., in der Ammonsoase von 28° C.

In S.-W.-Afrika [2]) kommen sogar Quellen von 52,7—77,5° C. vor. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 20—22° C. sind diese Temperaturen immerhin ein Zeichen für die Tiefe der Spalten, auf denen sie emporsteigen.

Je häufiger das Wasser ein Gestein durchsickert, in welchem lösliche Salze enthalten sind, desto salzärmer ist die als Quelle heraustretende Lösung. Die geringe Menge der atmosphärischen Niederschläge in der Wüste findet ihren Ausdruck in dem Salzreichtum der Quellen. Ohne dass fossile Salzlager in irgend

[1]) Zittel. Beitr. zur Geologie und Pal. der lib. Wüste. Palaeontogr. XXX, 1883, S. 143.

[2]) Dove. Pet. Geogr. Mitt. 1895. S. 93.



27. Schichtquelle im Uadi Tarfeh.

einem Glied der ägyptischen Schichtenfolge eine bedeutsame Rolle spielen, ist der Salzgehalt der meisten Quellen verhängnisvoll für die Besiedelung des Landes. Bei einer längeren Wüstenreise gewöhnt man sich so sehr an den salzigen oder laugenhaften Geschmack des Trinkwassers, dass einem der erste Schluck Nilwassers wie ein besonderes, charakteristisch schmeckendes Getränk erscheint.

Ueber die chemische Zusammensetzung der Wüstengewässer in der algerischen Sahara giebt am besten die Tabelle von Rolland (t. c. S. 294—5) Aufschluss. 21 Analysen ergaben folgende Extreme:

Gehalt an festen Bestandteilen	0,24 —6,74
„ „ Kieselsäure	0,012—0,068
„ „ Chlornatrium	0,039—4,03
„ „ Chlorkalium	0,005—0,307
„ „ Kalkkarbonat	0,076—0,294
„ „ Magnesiumkarbonat	0,005—0,052
„ „ Eisenkarbonat	0,004—0,013
„ „ Kalksulphat	0,008—1,851
„ „ Magnesiumsulphat	0,100—0,916
„ „ Natriumsulphat	0,025—1,214

Man ersieht hieraus leicht, wie mannigfaltig die Zusammensetzung der als trinkbar geltenden Gewässer ist. Aber viel häufiger ist der Gehalt an chemischen Lösungen noch höher und kann sich soweit steigern, dass eine Quelle ganz ungeniessbares Wasser liefert oder sogar nur ein salziger Brei aus dem Felsen sickert und Klüfte und Spalten überzieht. Es ist begreiflich, dass der Wüstenreisende nur selten Veranlassung nimmt, solche »bittere« oder »reduzierte« Quellen zu untersuchen, und so ist ihre Kenntnis gering. Einige Beispiele werden solche Vorkommnisse erläutern:

Im Uadi Natfe traf Güssfeld[1]) 6—15 m hoch über der trockenen Thalschlucht mächtige Stalaktiten die längs einer Schichtenfuge herabgewachsen waren.

Ein zu Tode verwundeter Australneger[2]) verkroch sich in eine Grotte an der Moskito-Plain von Südaustralien. Nach wenigen Jahren fand man die Leiche vertrocknet und vollkommen überzogen mit einer Kalksinterkruste. Ein unternehmender Engländer nahm das wunderbare Fossil mit nach seiner Heimat, um es auszustellen.

Zittel fand am Ostrand der Oase Khargeh eine 3 m dicke, 300 m lange und 1000 m breite Kalksintermasse. Die darin gefundenen Blattabdrücke rühren von Quercus ilex her, die jetzt nicht mehr in den Oasen wächst, doch nach Schweinfurth ist diese Pflanze noch jetzt in Nordafrika heimisch, und ein Rest von Pistacia Mughul, der auch gefunden wurde, rührt von einer Art her, die im Uadi Rigbe bei St. Antonius gedeiht.

Neben dem Kloster St. Antonius sickert eine Quelle hervor, die einen breiten Sinterkegel gebildet hat, und auch an anderer Stelle ist die Bildung

[1]) Peterm. Geogr. Mitt. 1877. S. 254.

[2]) Yung das. S. 273

von Kalksintern in der Wüste zu beobachten. Nach Sickenberger finden sich bei Ain Amur zwischen Dakhel und der grossen Oase in unmittelbarer Nähe der Quelle und der dabei liegenden Ruinen ausgedehnte Travertinbildungen. Sie nehmen nur die tieferen Teile der vom Gebirge herabkommenden Schluchten ein und sind so recent, dass oft die ungebrannten umherliegenden Thonziegel der Ruinen in den dunkelgrauen bis schwärzlichen Travertin ganz oder halb eingebacken und damit förmlich chemisch verwachsen sind. Der Travertin ist sehr porös, und Sickenberger konnte sich des Gedankens nicht entschlagen, dass zu seiner Bildung ein einmaliges Darüberlaufen des beim Regen in der Schlucht herabkommenden Wassers jeweils ausreichend war — selbst wenn dieser Vorgang durch Zwischenpausen von mehreren Jahren unterbrochen war. Die Materialien liegen umher, und eine Anfeuchtung mit dem kalkreichen Wasser genügt, um sie zu cementieren.

Man hat oft aus der Verbreitung von Kalksintern in der Wüste einen Schluss gezogen auf ein regenreiches Klima, unter dessen Einfluss solche Sinterkrusten entstanden seien. Allein dieser Schluss ist ganz unberechtigt, denn erstens kann man in der wasserleeren, regenarmen Wüste beim Kloster Sankt Antonius thatsächlich die recente Bildung solcher Sinter beobachten, und dann ist eine Sinterbildung auch theoretisch nicht so sehr abhängig von der Menge der Niederschläge, als von der Grösse der Verdunstung. Würde der Anio bei Tivoli, ohne einen Wasserfall zu bilden, in einem sanft geneigten Thal durch die Campagna fliessen, so würde die Bildung der Travertine nur wenig bemerkbar sein. Und in einem sehr niederschlagsreichen, verdunstungsarmen Klima kann es überhaupt nicht zur Bildung von Kalksintern durch Verdunstung kommen. In Oldham, Geology of India sucht man vergeblich nach einer Angabe über das Auftreten von Kalksintern in dem regenreichen Indien. Wir sehen daher in diesen Kalksintern innerhalb der Wüste eine ganz natürliche Wirkung des herrschenden Wüstenklimas, das die überall heraussickernden Kalklösungen verdampft und die Bildung von Sinterkrusten und Stalaktitenguirlanden an den Felsen geradezu begünstigt.

Eine in dem westlichen Texas und Neumexiko weit verbreitete Sinterbildung gehört wahrscheinlich zu demselben Problem. In der Sierra Blanca, der Sierra de los Dolores und anderen Lokalitäten fand ich häufig die den Boden der Halbwüsten bedeckenden krystallinischen und paläozoischen Gesteine mit weissen Kalksinterkrusten bedeckt, die besonders in Spalten und Vertiefungen häufig, an manchen Stellen das Geröll geradezu oberflächlich cementierten. Anfänglich glaubte ich in diesen Kalkkrusten eine Bildung sehen zu müssen, die den chemisch abgeschiedenen Kalken am Boden des Lake Bonneville entsprachen und also von eindampfenden Binnenseen herrühren konnten. Aber als ich in der Sierra Blanca hoch an den Berggipfeln, besonders auf der Nordseite der Berggehänge, solche Krustenbildung vielfach beobachtete und gleichzeitig die Topographie des umliegenden Landes keine Spuren alter Seeterrassen,

wie in Utah, zeigte, musste ich diese Erklärung fallen lassen. Und so vermute ich jetzt, dass es verdunstetes, kalkhaltiges Grundwasser ist, das, durch die aspirierende Kraft der Wüstenluft aus dem Boden emporgesaugt, diese Sinterabsätze gebildet hat.

Häufig baut sich ringsum das aufsickernde Grundwasser einen Sinterhügel auf, in dessen Material wir die chemischen Bestandteile der Quelle angereichert finden. Die von Suez aus oft besuchte Oase Ain Musa erhebt sich mit ihren Palmen einsam aus der gelben Ebene. Eine grössere Zahl von Quellen entspringen auf der Spitze je eines Hügels von 4—5 m Höhe, ihre Temperatur beträgt 21—30° C., manche sind wegen ihrer Bittersalze ganz ungeniessbar. Die Schalen der in dem Wasser lebenden Muschelkrebse werden in den Quellabsatz eingeschlossen und bilden, wie O. Fraas[1]) gezeigt hat, ein wichtiges Element im Aufbau der Hügel.

Sickenberger untersuchte die Masse der Hügel, auf denen die 28—40° warmen Thermen der Oase Khargeh entspringen. Sie bestand aus einem Cement von Eisenoxydhydrat, Kobalt, Mangan, Alaun, Gyps und seltener Schwefel; öfters überwog das Mangan alle übrigen Bestandteile, und diese Kittmasse verband den hinaufgewehten und durch die Feuchtigkeit festgehaltenen Wüstensand. Der Kobaltgehalt betrug nach Johnson Pascha 2—4 %, und ein entsprechender Kobaltgehalt fand sich auch in den braunen zitzenförmigen Hügeln, die sich zwischen dem Djebel Achmar und dem Grossen versteinerten Wald bei Cairo verfolgen lassen. Es wird dadurch höchst wahrscheinlich gemacht, dass der viel umstrittene Rote Berg, dessen buntfarbiges Gestein aus Kieseln, wie sie der Sserir bietet, aus feinerem Geröll und aus Sand, verkittet durch Kieselsäure, Eisen- und Mangansalze, aufgebaut ist, ganz ähnlich entstand, wie die Quellhügel der libyschen Oase. Ich habe in meiner früheren Abhandlung, Taf. VIII, Fig. 1, einen gebräunten und gesprungenen Kiesel aus dem Konglomerat des Djebel Achmar abgebildet, der entschieden dafür spricht, dass während der Entstehung jenes sonderbaren Berges dort schon Wüstenklima herrschte. Aus scharfkantigen Bruchstücken von versteinertem Holz geht aber auch hervor, dass die Bildung dieses berühmten Fossiles schon vollendet war, ehe die mineralreichen Gewässer emporsickerten und den herantreibenden Wüstensand ebenso cementierten, wie die Gerölle der umliegenden Kieswüste.

Während in den bisher behandelten Fällen die Quelle nur die Stelle bildet, wo das Grundwasser, aus der Erdrinde aufsteigend, durch Verdunstung direkt in den atmosphärischen Kreislauf aufgenommen wird, fügen sich andere Beispiele hieran, wo das der Quelle entsprudelnde Wasser erst eine Strecke weiterläuft, ehe es verdunstet. Es wäre ein Leichtes, eine Reihe von Fällen aufzuzählen, in denen die Länge des Wasserlaufes eine grössere wird. Die Quelle von St. Antonius liefert einen kräftigen Quellbach, aber die ganze

[1]) Aus dem Orient 1867. S. 181.

Menge des Wassers wird zur Berieselung der Klostergärten innerhalb der Mauern verbraucht. Die Quelle im Uadi Feiran läuft mehrere Kilometer zwischen grünen Palmengruppen, dann versiegt der kulturbringende Bach.

Charakteristisch für die Wüstenbäche und Flüsse ist ihre wechselnde Länge. In unserem Klima ist die Länge eines Wasserlaufes von der Quelle bis zur Mündung eine ganz konstante Grösse. In der Wüste schwankt sie beständig, ein Fluss kann ganz verschwinden, um ein anderesmal durch seine riesigen Wasserfluten den Reisenden in Erstaunen zu setzen.

Der Fluss, der bei Hudoab in Südwest-Afrika[1]) im Thalboden versickert, lässt sich durch Sondierungen unterirdisch weiter verfolgen. 1852, 1864, 1880 und 1885 aber floss er oberirdisch 140 Kilometer weiter bis Walfischbai. Aus Australien beschreibt Jung[2]) ähnliche Beispiele, wo seit der Besiedelung des Landes ganze Flussläufe wasserleer geworden sind. Von allen Flüssen Süd-Australiens erreicht nur der Onkaparinga das Meer. Alle anderen werden in ihrem Laufe immer brackischer und enden dann in einem Salzsumpf. Manche Flüsse verwandeln sich während des Sommers in eine Kette von Wassertümpeln, die nur unterirdisch kommunizieren, andere trocknen ganz aus oder sind wesentlich kürzer geworden, wie der Bratschina, der Beralchina, Warrinta und Putterpa.

In einer Quelle der Oase Bitter[3]) in der Mohavewüste fanden sich zahlreiche Frösche und Froschlarven, obwohl das nächste fliessende Wasser 20 Kilometer weit entfernt und tief in der ebenen Wüste lag. Ganz undenkbar erscheint es, dass die Amphibien durch die trockene Wüste gewandert oder transportiert worden seien, vielmehr muss diese Quelle einmal in Verbindung gewesen sein mit einem grösseren Gewässer.

Diese periodisch länger und kürzer werdenden Flussläufe werden in Südafrika Ontoula genannt und bieten überall, wo sie auftreten, interessante Beispiele für die Hydrographie der Halbwüsten. Wenn wir die Abflusslosigkeit als eine wesentliche Eigenschaft des Wüstenklimas bezeichneten, so muss es im zeitlichen wie im räumlichen Sinne Gebiete geben, die unvollkommen dräniert werden, und auf solche Gegenden würde der Ausdruck Halbwüste am besten anzuwenden sein.

Es ist seit langem bekannt, dass die australischen Flüsse sich während der Regenzeit in nichts unterscheiden von einem Fluss niederschlagsreicher Länder. Während der trockenen Periode aber hört der Fluss auf, eine ununterbrochene Wasserverbindung zwischen Quelle und Mündung zu bilden; er löst sich in eine Kette langgestreckter Tümpel auf, die immer mehr einschrumpfen und endlich ganz isolierte Wasseransammlungen darstellen. Folgen mehrere regenlose Jahre aufeinander, wie dies gelegentlich in Queensland vorgekommen

[1]) Stapff, Peterm. Geogr. Mitt. 1887, S. 209.

[2]) Jung, das. 1877, S. 276.

[3]) Das. 1876, S. 418.

ist, so kann[1]) ein ganzes Flussgebiet völlig austrocknen, und die Wassertiere desselben werden bis auf solche, die das Austrocknen vertragen, zu Grunde gehen. In einem späteren Abschnitt wird uns die erdgeschichtliche Bedeutung dieses Vorgangs noch weiter beschäftigen.

Während wir hier von einer zeitlich bedingten Halbwüste sprechen, giebt es auch topographische und meteorologische Gründe, die räumlich den Charakter einer halbdränierten Landschaft bedingen können. Denn zwischen der eigentlichen Wüste und den benachbarten dränierten Gebieten schiebt sich ein Grenzland ein, das bald dem einen, bald dem anderen Typus nahetritt, wo durch die Lage der Wasserscheiden unter lokal herabstürzenden Regenwolken bald das Wasser zur ausgetrockneten Wüste strömt, um dort zu verdampfen, bald mit dem nächsten Flusssystem dem Meere zueilt. Solche Gebiete sind auch floristisch von der eigentlichen Wüste zu trennen, denn ihre Vegetation ist reicher als die der Wüste und trägt nur in dem Mangel geschlossener Pflanzendecken den Wüstencharakter zur Schau. Auch hier ist das Wort Halbwüste bezeichnend.

Einen überaus interessanten Spezialfall der Flussentwickelung bieten die Nebenflüsse des Amudarja. Der altberühmte Oxus entspringt am Fusse des Pamir und des Hindukusch und zeigt bei einem SO.-NW.-Lauf das sonderbare Bild eines Flusssystems, dessen Aeste den Hauptfluss nicht erreichen. Das im Nordosten herandringende Sandmeer des Karakum hat die Serafschanmündung so versandet, dass die verdunstenden Wasser, in ein vielgegabeltes Netzwerk von Delta-Armen aufgelöst, im Sande versiegen, 30 Kilometer ehe sie den Oxus erreichen. Aber viel interessanter sind die Nebenflüsse des linken Ufers. Dem Bär'schen Stromgesetz folgend, drängt der Amudarja in jedem Jahrhundert etwa 5 Kilometer nach rechts, und da gleichzeitig, wie ich ausführlich[2]) dargethan habe, das Sandmeer durch den Fluss nach Südwesten wandert, so werden die von links kommenden Nebenflüsse überall vom Strom abgelöst.

Auf Blatt Taschkent (XIX) der Topographischen Karte des asiatischen Russland ist schon das Unterende des Koktscha durch Punktierung als ein halbunterbrochener Lauf gekennzeichnet. Der Akserai zeigt bei Setalla eine punktierte Strecke; alle folgenden linken Nebenflüsse: der Chulum, Balch, Saripul und Sangalak (Flüsse von der Grösse der Saale) versiegen 50 Kilometer vor dem Hauptstrom. Verfolgen wir von hier das linke Ufer des Oxus weiter, so kann es kaum einem Zweifel unterliegen, dass auch die beiden grossen Flüsse Murghab und Tedschen (von der Grösse der Oder) einst Nebenflüsse des Amudarja waren. Wenn das Wandern des Hauptstromes immer mit derselben Geschwindigkeit wie jetzt erfolgte, so musste der Murghab noch vor 4000 Jahren in den Amudarja münden.

[1]) Semon. Im australischen Busch und an den Küsten des Korallenmeeres. S. 99.

[2]) Das Oxusproblem, Peterm. geogr. Mitt. 1898.

So entstehen erstens durch periodische Regengüsse, oder zweitens durch periodisch sich verlängernde Flüsse, oder drittens durch verödende Flussarme in der Wüste überall Thalformen ohne Wasser (Trockenthäler, arabisch Uadi, Oued, in Südafrika Omuramba, in Australien Creek) an deren Vertiefung bald das periodisch hindurchströmende Wasser, bald der beständig wehende Wind arbeitet. So lange das Terrain gebirgig ist, erscheint das Trockenthal wasserreich und damit als typische Erosionsrinne. Je weiter aber die allgemeine Denudation des Wüstenlandes vorwärtsschreitet, desto flacher werden die Uadi, desto seltener durchströmt sie oberflächliches Wasser, bis endlich der Wind eine flache, unregelmässig verlaufende Thalspur (Bild 30) bestreicht, in der als ein Ueberrest vergangener Zeiten noch etwas Grundwasser dahinsickert und die langen Wurzeln genügsamer Wüstenpflanzen tränkt.

Die Länge eines Wasserlaufes begrenzt die Wirkungssphäre der von ihm ausgeübten Erosion, und so muss naturgemäss der topographische und landschaftliche Charakter eines Wüstenthales sich wesentlich unterscheiden von einem Thalsystem in Europa.

Abflusslose Quellen können naturgemäss keine Thalrinne bilden, wir finden sie, umgeben von den chemischen Bestandteilen des verdunsteten Quellwassers, oftmals auf dem Gipfel eines durch sie aufgebauten Hügels, oder mitten in der Depression, aus welcher kein Thal einen Ausweg bietet.

Abfliessende Quellen fliessen in einer Erosionsrinne, soweit ihre dauernden Abflüsse reichen; dann beginnt ein Thal, dessen Wände mehr durch Deflation als durch Erosion angenagt und ausgebildet sind, und endlich läuft der unterirdische Wasserfaden als pflanzentränkende Grundwasserströmung in der leblosen Wüste aus.

Periodische Regengüsse können überall eine Erosionsrinne schaffen, besonders leicht am gewitterbildenden Steilrand des Gebirges Wo das Wasser versiegt, da endet auch die Erosionsrinne, und so bilden sich kurze, isolierte Thalabschnitte, die durch Deflation miteinander verbunden werden, deren Neigung aber bald aufwärts, bald abwärts gerichtet ist, so dass sie allen geographischen Grundsätzen spotten und lange Diskussionen zu scheinbar entgegengesetzten Ansichten geführt haben, wie die Frage[1]) nach dem »alten Oxuslauf« zur Genüge beweist.

Der Wüstenreisende bringt aus seiner Heimat die ihm selbstverständlich erscheinende Vorstellung mit, dass Fluss und Thal auf das Engste verbunden sind. Wenn er nun in der Wüste überall Thäler ohne Wasser sieht, dann wird er ganz naturgemäss zu der Annahme geführt, dass auch diese Thäler reine Erosionsrinnen seien, und so entsteht die Theorie einer Pluvialperiode und riesiger Wasserströme, die einstmals die Wüste durchfurchten. Aber wir haben im vorigen Abschnitt gezeigt, dass der Grundriss und die Wände der

[1]) J. Walther. Das Oxusproblem in historischer und geolog. Beleuchtung.



28. Granitwüste (Needles) am Colorado.



29. Schutt eines Wolkenbruches in den Strassen von Heluan.



30. Uadivegetation am Sinai.



31. Trockendelta des Uadi Merscha (Sinai).

Uadis mit unseren Erosionsthälern im einzelnen auf lange Strecken nicht übereinstimmen. Wenn es in einem Uadisystem Thalstrecken giebt, in denen wir die frischen Spuren fliessenden Wassers, hohe Schotterterrassen, ausgetrocknete Lehmtümpel und ausgekolkte Felsenlöcher finden, so begegnen uns im weiteren Verlauf desselben Thales vielleicht nur nackte, schuttfreie Felswände mit Säulengängen, Steinzapfen und Amphitheatern, während sandgeschliffene Dreikanter in der Thalsohle verstreut sind. Eine Wunde, welche die Erosion eines Wolkenbruches in die Erdrinde gerissen hat, wurde von der Deflation erweitert, und bis zum nächsten Regenguss wirkt der Wind jahrelang umbildend auf das Relief der Landschaft.

Nach dem Gesagten wird es leicht verständlich sein, dass auch die Flussschotter und Flusssand-Ablagerungen eine Verteilung zeigen, die durch die Wirkungssphäre einzelner Wolkenbrüche abgegrenzt wird. Meilenweit sind wir durch das Uadi Feirān gezogen, dessen Sohle zwar mit Wüstenkräutern bewachsen ist, in denen wir aber weder fliessendes Wasser, noch eine Flussrinne, noch auch irgendwelche Schotterterrassen bemerken. Da sehen wir plötzlich an der roten Granitwand (s. Bild 8) eine 10 m hohe hellgelbe Schuttterrasse entlangziehen, und ähnliche Geröllager ziehen sich in einzelnen (s. Bild 44) Denudationsresten wohl 50 m hoch an gegenüberliegenden Thalgehängen empor. Russegger[1]) hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass kopfgrosse Kalksteingerölle dem Granitgrand eingelagert sind, obwohl in dem ganzen Oberlauf des Uadi nirgends Kalk ansteht. O. Fraas[2]) hat sich dann eingehend mit diesen Geröllmassen beschäftigt und ihre Entstehung auf Eistransport zurückgeführt — er nennt sie geradezu Moränen. Seine Schilderung ist überaus treffend: Gleich beim Eintritt in das Uadi Hebrān türmen sich 15 m mächtige Schuttwälle auf, wie eine ungeheure Sandbarre sich quer vor das Thal lagernd. Der Schuttwall besteht aus dem Detritus des sinaitischen Gebirges, er enthält Blöcke von 1000 cbm bis zur Grösse einer Haselnuss, Sand der gröbsten Sorte bis zum feinsten Sandmehl, das Alles aber nicht sortiert und Gleiches zu Gleichem gelegt, sondern bunt und wirr durcheinandergearbeitet, Feines neben Grobem, Leichtes neben Schwerem ... Ein Irrblock von grauem Granit steht neben dem Wege im Sande am Bach. Er ist über und über mit alten Inschriften beschrieben, die mit dem Erdboden parallel laufen und deutlich zeigen, dass zur Zeit der Inschrift der Block wie der Boden schon so gestellt und geformt war, wie er jetzt ist. Die Inschriften sind vier Jahrtausende (nach neueren Forschungen 1800 Jahre) alt, und seit jener Zeit hat kein Gebirgswasser den Block zu verrücken vermocht. Anfangs wollte Fraas alle »Moränen« aufzeichnen, fand aber bald, dass mit jeder Biegung neue Schuttwälle erschienen, dass manche Seitenthäler gänzlich schotterleer

[1]) Russegger, Reisen. III, S. 232.

[2]) O. Fraas, Aus dem Orient. S. 28.

waren, und dass auch im Hauptthal mit einem Mal alle Schotter aufhörten. Erst im Uadi Selaf traten sie wieder auf.

Nach unserer Ansicht liegt aber gerade in der Regellosigkeit im Auftreten solcher Schuttreste der beste Beweis, dass sie von dem jetzigen Wüstenklima gebildet worden sind. So zeigt uns Bild 40 im Uadi Rigbe vielfach zerschnittene Reste einer wohl 30 m hohen Schuttablagerung, die durch spätere Wassermassen aus dem Thal wieder ausgeräumt wurde. Nur hier und da sind einzelne Pfeiler von Uadischutt stehen geblieben. Auch Bild 44 giebt eine gute Vorstellung ähnlicher Schuttreste aus dem Uadi Esch-Schech. Sie heben sich durch ihre helle Farbe und ihren Kalkreichtum deutlich ab von den krystallinischen Gesteinen im Hintergrund. Gebildet zu einer Zeit, in der umliegende Berge noch von jungen Sedimentgesteinen bedeckt waren, sind sie ein sprechender Beweis dafür, dass schon seit vielen Jahrtausenden dasselbe Wüstenklima am Sinai herrscht. Wenn wir die Wirkungsweise der Wolkenbrüche in der Wüste kennen, dann sind diese seltsam und scheinbar regellos verteilten Schotter leicht verständlich, denn sie bezeichnen die Wirkungssphäre eines rasch wieder versiegenden Gewässers, eines Sèl, wie die Sinaibeduinen[1]) solche Wasserfluten bezeichnen.

Noch viel seltsamer werden die Schicksale der Trockenthäler, wenn sie das Wüstengebirge verlassen und auf eine Wüstenebene münden. Hier muss nach längerem oder kürzerem Lauf jedes Gewässer versiegen und dementsprechend auch die Erosionswirkung aufhören. Wir verlassen bei der einsamen Station Djebel die transcaspische Bahn und reiten nach dem Grossen Balchan, der in einer Entfernung von 20 km mit senkrechten Steilwänden 1600 m hoch aus der sanft ansteigenden Kieswüste emporragt. Der sandige Boden an der Bahnlinie verändert zusehends seine lithologische Beschaffenheit. Immer zahlreicher werden die runden Steine, und grobes Geröll bildet langgestreckte flache Felder zwischen feinerem Kies. Die aufgehende Sonne bestrahlt die Steilwand des Gebirges. Schmale tiefe Schluchten zerschneiden die Felsenmauer, und aus jedem dieser Thäler dringt wie ein Gletscher ein mächtiger Steinstrom hervor. An der Mündung der Schlucht quellen die Schuttmassen zu einem riesigen Delta empor, dann gabelt sich der Schuttkegel wie ein breiter Fächer, seine zerfurchten Kiesrippen verflachen sich zusehends und fliessen wie ein weicher Brei in die ebene breite Kieswüste.

So bildet sich an der Mündung des Trockenthales ein Trockendelta, und wir haben später noch zu schildern, wie gewaltige Schuttmassen auf diesem Wege die Wanne der Wüstenlandschaft ausfüllen. Bild 31 zeigt den flachen Deltakegel am Ausgang der Uadi Muscha am Sinai. Aus der schmalen Thalschlucht ist fächerartig der Geröllstrom hervorgedrungen. Sand, Schlamm, Kies und grosse Felsblöcke hat er eine Strecke transportiert, un-

[1]) Verworn, Neue deutsche Rundschau, 1898. S. 736.



32. Mündung des Uadi Hof am Nilthal.

sortiert wie eine Moräne, gerundet oder kaum entkantet liegen die Geschiebe durcheinander. Schon hat der Wind sein Werk begonnen und alles feinere Material herausgeblasen, so dass die ehemaligen Rinnsale durch lange Reihen gröberen Gerölls deutlich markiert sind.

Das grösste Trockendelta findet sich in dem Seengebiet[1]) von Inneraustralien. Hier hatte Eyre einen hufeisenförmigen See nachgewiesen, der Ende der fünfziger Jahre durch andere Reisende nicht mehr gefunden wurde. 1867 reisten die deutschen Missionare Walder, Kramer und Meissel durch das Gebiet und erkannten, dass diese so unbeständigen Seen das Mündungsgebiet des Cooper Creek bildeten. Dieses Delta erstreckte sich vom Strzelecki Creek bis zum Gregory-See im Süden, dem Eyre-See im Westen und dem Lipson-See im Norden. Vergleichen wir seine Ausdehnung mit einigen bekannteren Flussdelta, so ist

das Delta der Donau	10	geogr.	Meilen	lang	und	10	Meilen	breit.
„ „ des Nil	23	„	„	„	„	28	„	„
„ „ des Niger	20	„	„	„	„	44	„	„
„ „ des Cooper Creek	40	„	„	„	„	37	„	„

Es übertrifft also das Nildelta um das Doppelte der Fläche, das Donaudelta um das Fünfzehnfache. Mit der Wassermasse freilich sieht es dürftig genug aus. Nur bei starken Regengüssen führen die Thalrinnen Wasser, und die Mündungsarme sind nicht scharf ausgeprägte Rinnen, sondern unstete Kanäle, die sich auf der Schuttebene verlieren.

Die asiatischen Wüsten haben überaus strenge Winter, und wenn auch manche salzreiche Seen Centralasiens selbst bei 20° Kälte nicht zufrieren, so bedecken sich dafür alle süssen Gewässer mit dicken Eiskrusten. Loczy[2]) zeigt, wie hierbei sehr bemerkenswerte geologische Wirkungen erzielt werden. Die Flussbetten am Südrand der Wüste Gobi waren im März bis 1000 m breit mit dickem Eis bedeckt, obwohl der Fluss selbst kaum einige Meter breit war. Diese Erscheinung findet darin ihre einfache Erklärung, dass zur Winterszeit, während die Zuflüsse geringer werden, die Flüsse bis zum Boden einfrieren. Die von oben her nachströmenden Wasser fliessen über die den Weg versperrende Eiskruste hinweg und bedecken allmählich den Boden des Flussbettes in seiner ganzen Breite mit einer riesigen Eisdecke. Schliesslich bricht sich der Fluss beim Beginn des Frühlings eine neue Bahn, reisst grosse Eisschollen auf und schleppt dieselben mit dem angefrorenen Gesteinsschutt thalabwärts. Die geologische Bedeutung dieser Thatsache ist überaus gross, denn sie erklärt das Auftreten grosser exotischer Blöcke in grobklastischen Gesteinen ohne eine Eiszeit, und ohne dass man Grund hätte, sich über den Mangel oder das Auftreten von Gletscherschliffen zu wundern.

[1]) Jung. Pet. Geogr. Mitt. 1867. S. 437.

[2]) Loczy. Reise des Grafen Széchenyi. Wien 1893. I, III, S. 508.

6. Die abflusslosen Binnenseen.

Regionale Deflation hat die Wüste gefegt, lokale Wolkenbrüche haben das Gebirge zerschnitten. Glatt wie ein Tisch schneidet die steinige Hamada den Horizont, in sanften Undulationen verliert sich die Kieswüste in der Ferne. Rings geschlossene Wannen und Oasendepressionen hat der Wind ausgehoben; gewaltige Felsengebirge steigen aus dem ebenen Schuttlande; regellose Thalsysteme mit wechselndem Gefälle verbinden locker die Niederungen. Anstehende Felsen, weitausgedehnte Schuttlager, wandernde Sandmeere und mächtige Lössanhäufungen bedecken das felsige Gerüst des Landes. Aeolische Verwitterung hat weithin alle Felsen gelockert, zerbröckelt, gespalten, unterminiert. Jahrelange Trockenheit hat zahllose grosse und kleine Gesteinsbrocken erzeugt, heftige Stürme haben sie allseitig freigeblasen. Der Sandwind hat ihre Kanten und Ecken rund geschliffen, und selbst grosse Felsenblöcke liegen, von wenigen Stützpunkten gehalten, labil auf ihrem Fundament. Lockerer Flugsand hat weite Flächen überschritten, feinster Lössstaub ist durch Steppenpflanzen gesammelt worden, leichtlösliche Salze sind aus dem Boden ausgeblüht und überziehen Felsen und Erdboden mit einer weissen Kruste — da stürzen mit einem Male in den zerrissenen Felsengebirgen riesige Wassermassen hernieder, wälzen sich brausend durch die Uadischlucht, und ein Meer ergiesst sich über die Wüstenebene.

Das scheinbar Unmögliche wird Wirklichkeit: riesengrosse Felsenquadern beginnen sich zu bewegen, kiesüberdeckte Flächen geraten in Fluss, ein Sandbrei fliesst vom Rande des Dünengebietes herab und breitet sich in langen Zungen wie ein weicher Kuchenteig über die Ebene. Alle Thonflächen, Neulinge und Lösslager werden erweicht und fliessen nach den Niederungen, und im Nu sind die Salzmassen gelöst und abgeleckt, die durch jahrelange Trockenheit geschützt überall den Boden überzogen.

Unaufhaltsam wie eine Sintflut wälzt sich die unheimliche Masse weiter, und wenn irgendwo jene uralten Vorstellungen von geologischen Katastrophen Realität gewinnen, so ist es bei einem Wolkenbruch in der Wüste.

Plötzlich sind die Wasser gekommen, rasch sind sie verschwunden. Mit elementarer Gewalt schütteten die Wolken riesige Wasserströme herab, aber

sie treffen auf einen ausgedörrten Boden, sie mischen sich mit lockeren Sedimenten, sie geraten in eine topographische Wanne, aus der es keine Pforte giebt, oder an eine Bodenschwelle, die mitten im Uadi den Ausweg versperrt. Die Wüste ist nicht dräniert, und das zu einem zähen Brei gewordene Wasser erstarrt auf seinem Wege, ohne das Meer zu erreichen. Aber selbst wenn das Wasser sich nicht mit klastischem Material beladen konnte und nur an den Felswänden chemische Salze abwusch, so kann diese Salzlösung nicht den Ozean erreichen, sondern sie fliesst nach der nächsten Depression, nach den tiefsten Stellen des temporären Regengebietes und bildet hier einen See.

Horizontal ist die Denudationsebene, die der Wind geschaffen hat, horizontal ist die Oberfläche der mit Schutt erfüllten Depression, horizontal sind die Sandwüsten, weite Ebenen bedeckt der Lössstaub, und nicht mit Unrecht verknüpft der Laie mit dem Wort Wüste die Vorstellung eines ungegliederten Landes. Infolgedessen kann das bei einem Wolkenbruch herabstürzende Wasser eine sehr grosse Fläche überschwemmen, und was dem neugebildeten See an Wassertiefe fehlt, das ersetzt seine horizontale Ausdehnung. Am 25. Mai 1897 wurde bei Kisilarwat der Damm der transkaspischen Bahn durch das meterhoch heranbrausende Wasser eines Gewitterregens auf eine Länge von 400 m weggerissen; mehrere Tage stand die weite Wüstenebene unter Wasser. Aber als ich im September die Gegend sah, war ringsum trockene dürre Wüste, fusstiefe Trockenrisse zerschnitten den grauen Takyrboden in polygonale Felder und schlossen seine ausgezeichnete Schichtung deutlich auf, überall sah man tiefe Wasserrisse, mit einer so feingefurchten Skulptur, dass man das Modell einer Karrenlandschaft zu erblicken glaubte, aber kein Tropfen Wasser war vorhanden, und kein Grashalm sprosste auf der absolut horizontalen Takyrebene.

Zufluss und Abfluss regulieren den Wasserstand eines Sees in unserem Klima, die Verdunstung kann an diesem Verhältnis nichts wesentlich ändern. Zufluss, Versickerung und Verdunstung sind die Momente, welche den Wassergehalt eines abflusslosen Sees bestimmen, und daraus ergeben sich ohne Weiteres die seltsamen Erscheinungen, die wir an den Wüstenseen beobachten.

In unserem Klima sind die Teiche und Seen, mögen ihre Dimensionen klein oder gross seien, nichts Anderes, als Erweiterungen des Flusslaufes. Wenn wir uns von der Quelle bis zum Meeresspiegel eine absteigende Kurve zeichnen, so bilden die Seen darin fast horizontale Stufen; sie liegen sämtlich höher als der Meeresspiegel, und jeder folgende ist niedriger als der vorhergehende. Die Sedimente des Flusses können die Klärungsbecken im Oberlauf ausfüllen, dann verschwindet der See, aber in dem stellvertretenden Abschnitt der Flusskurve bleibt sein Niveau noch erhalten. Der Bergsturz von Flims kann den Rhein 100 m hoch aufdämmen und einen langen Thalsee bilden, aber in einer tiefen Erosionsrinne stellt der Fluss nach kurzem Stagnieren seine alte Kurve wieder her.

Schlamm, Sand und Kiesbänke trägt der abfliessende Strom aus dem Quellgebiet fort und räumt beständig sein Bett aus, um endlich alle diese Sedimente dem Boden des Weltmeeres zu übergeben. Das beständig rinnende Wasser sortiert die klastischen Elemente und schichtet bei wechselnder Transportkraft Sand über Kiesbänken, Schlamm über Sandschichten auf.

Man muss sich von diesen, scheinbar selbstverständlichen Vorstellungen frei machen, wenn man das Wesen der Seebildung in einem abflusslosen Gebiet verstehen will. Und wenn ich hier den Namen »Binnensee« in diesem engeren Sinn als »See eines abflusslosen Gebietes« brauchen darf, so fördert die Naturgeschichte der Binnenseen überaus befremdende Erscheinungen zu Tage:

Die Zuflüsse der Binnenseen sind periodisch oder dauernd. Und da die Verdunstung innerhalb der Wüste eine konstante Erscheinung ist, so ergiebt sich von selbst, dass die durch periodische Zuflüsse gebildeten Binnenseen periodisch entstehen und verschwinden. Wir haben schon geschildert, in welcher Weise ein periodischer See durch temporäre Regengüsse entsteht. Mit einem Schlage wird die Wüstenebene überflutet und ein blauer Seespiegel glänzt weithin über die Landschaft. Das seichte Wasser versickert und verdunstet in wenigen Tagen, und eine folgende Karawane reitet trockenen Fusses über die Ebene. Wenn man die Reiseberichte aus den Wüsten aller Kontinente liest, so wird man häufig der Bemerkung begegnen, dass ein von früheren Reisenden gesehener oder erkundeter See nicht wieder gefunden wurde, oder dass die kartographisch festgelegte Form unrichtig erscheint.

Auf älteren Karten von Australien[1]) findet sich ein hufeisenförmiger grosser See, Lake Torrens, den Eyre zuerst erforscht hatte. Ende der fünfziger Jahre wurde durch eine Reihe von Reisenden, die trockenen Fusses durch das Seegebiet gingen, jener Hufeisensee in ein Gewirr von kleinen Seen zerlegt, die auf Tafel IV von Petermann's Geogr. Mitteilungen 1867 dargestellt wurden. In diesem Jahre aber wurde durch die deutschen Missionare Walder, Kramer und Meissel festgestellt, dass dieses Seengebiet das trockene Delta des Cooper Creek sei. Man würde an ungenaue Beobachtungen dieser verschiedenen Reisenden denken müssen, wenn nicht G. W. Goyder[2]) schon 1860 in demselben Gebiet folgendes festgestellt hätte: Die Mitte März gefallenen Regenwasser hatten die Creeks mit süssem Wasser überschwemmt, die Thonbecken und Wasserlöcher gefüllt und an der Stelle, wo Eyre den grossen See betreten hatte, lag eine weite Salzwasserbai, belebt von hunderten von Pelikanen, Schwänen, Enten und anderen Wasservögeln. Der Kanal an der Mündung von Chamber Creek enthielt einen starken Strom fliessenden Wassers, 1500 Fuss breit und anscheinend tief. Lange Strecken süssen Wassers befanden sich in dem Creek östlich von Eyres fernstem Punkt, und auch sonst war Süsswasser überall im Ueberfluss vorhanden.

[1]) Peterm. Geogr. Mitt. 1867. S. 437.

[2]) Das. 1863. S. 300.



33. Das Flussnetz des versiegenden Serafschan.

Bei Goyders zweitem Besuch hatte sich das Wasser in dem See von dem Ufer bei Eyres fernstem Punkt bedeutend zurückgezogen, das Süsswasser in Nellys Creek war brackisch geworden, die langen Strecken im Frances brackisch oder ganz und gar salzig. Der Frome enthielt 15 engl. Meilen weit eine dunkelrote Soole, nur im Smith Creek waren die Wasser süss, trockneten aber schnell ein. Ein aus Häuten hergestelltes Boot sank im Wasser des Sees nur 4 Zoll ein, obwohl es schwer belastet war. Im Creek war das Wasser 6 Zoll gefallen, das genügte, um den grösseren Teil des Sees in ein weites Bett von trockenem Schlamm zu verwandeln, das mit Salz imprägniert ist und einen sumpfigen Uferrand hat.

In genau derselben Weise wechselt der Umriss und die Bodenbeschaffenheit des Lopnor, wie dies Sven Hedin[1]) durch vergleichende Studien neuerer und älterer Karten festgestellt hat. Niemand würde in dem Wasserbecken, das 1885 Przewalski kartierte, den See wiedererkennen, den Sven Hedin 1896 dort aufnahm.

Das Wandern der Binnenseen von einem Ort zum anderen, ihr plötzliches Entstehen und ihr vollständiges Verschwinden wird aber nicht allein durch die räumliche Verteilung der Niederschläge bedingt, sondern auch durch die sonderbare Anordnung, welche die Wasserscheiden eines abflusslosen Gebietes zeigen.

Es ist charakteristisch für eine dränierte Landschaft, dass alle Wasserscheiden irgendwo den Meeresstrand erreichen. Von dem höchsten Punkte des Landes strahlen eine oder mehrere Linien aus, die sich wohl weiter teilen, aber niemals wieder berühren oder schneiden, bis sie das Gestade gewonnen haben. Und was für einen ganzen Kontinent gilt, das gilt auch für den kleinsten Teil desselben; die Wasserscheiden trennen in sich verzweigenden, aber nicht wieder begegnenden Linien die Gebiete des Abflusses. In einem abflusslosen Gebiet kehren die Wasserscheiden vielfach kreisförmig in sich zurück, und im einzelnen bilden sie ein vielverschlungenes Liniensystem von weiten und engen Maschen. Jeder Wolkenbruch kann eine solche Masche anschneiden, aber da seine Fluten niemals das Meer erreichen, so können die mitgeschleppten Schuttmassen auch einen Riegel bilden, der eine neue Verbindung zwischen verschiedene Wasserscheiden herstellt und neue Gebiete umgrenzt. Die Verteilung von isolierten Schottermassen in einem Uadisystem, ja sogar die Topographie einzelner Thäler zwingt den Beobachter vielfach zu solchen Annahmen.

So kommen ganz verschiedenartige Ursachen zusammen, um die Entstehung neuer Binnenseen von kleinen und grossen Dimensionen zu veranlassen, die nach kurzem Bestand völlig austrocknen.

In unserem europäischen Klima erscheint es uns selbstverständlich, dass ein See, als charakteristisches Element der Landschaft, ebenso einen bestimmten

[1]) Peterm. Geogr. Mitt. 1896. S. 201. Karte XVI.

Namen trägt wie ein Fluss oder ein Dorf. Aber unstät wie das Zeltlager des Beduinen, wechselnd wie der Aul des Turkmenen ist ein See in der Wüste; heute erfreut den verschmachtenden Reisenden der blaue Spiegel einer weiten Wasserfläche, nach acht Tagen vielleicht findet er eine salzige Thonpfütze, und nach einer zweiten Woche reitet die Karawane über die polygonal zersprungenen Thonplatten eines trockenen Takyrbodens oder einer öden Sebcha. Und fragen wir nach dem Namen des Sees, so hören wir vielleicht eine Bezeichnung, die sich auf einen Nomaden oder auf ein Karawanenereignis bezieht, gar oft aber kennt der Beduine keinen Namen, denn er weiss, dass der See fast ebenso vergänglich ist, wie das Spiegelbild der Fata morgana.

Dass grössere Binnenseen diese Vergänglichkeit in geringerem Grade zeigen und sich ihre Geschichte in längeren Zeiträumen abspielt, bedarf keiner Begründung. So sind einzelne grosse Buchten des Aralsees in ihrer Form überaus wandelbar. Die auf älteren Karten eingetragene Bucht von Aibugir,[1] die 1858 noch ganz mit Wasser bedeckt war, zeigte schon 1873 einen mit Bäumen bewachsenen trockenen Takyrboden.

Während bei einem zum Weltmeere abfliessenden See heftige Regengüsse vorübergehend zwar einen höheren Wasserstand erzeugen können, der aber dann durch vermehrten Abfluss nach wenigen Tagen wieder ausgeglichen wird, bildet bei einem abflusslosen Binnensee der Wechsel des Wasserstandes und die Veränderung des Umrisses die Regel. Fünf Ursachen wirken verändernd ein

1. die Menge der Niederschläge,
2. die Grösse der Verdunstung,
3. das Versickern des Wassers im Boden,
4. die Masse der dem See zugeführten Sedimente,
5. der Salzgehalt des Wassers.

Sobald grosse Wassermassen durch einen Wolkenbruch oder durch die Schneeschmelze dem Binnensee zugeführt werden, steigt sein Spiegel um den Betrag dieses Wasservolumens; und nur die Verdunstung kann seinen Spiegel erniedrigen. Diese aber wirkt natürlich auch und gerade dann am intensivsten, wenn keine Zuflüsse dem See zuströmen. Und so kann sein Niveau immer weiter sinken, bis die Menge der im Wasser enthaltenen hygroskopischen Salze die Verdunstungsgrösse herabsetzt, vielleicht ganz aufhebt. Przewalski[2] kam in Centralasien 3750 m hoch an den Salzsee Tschongkumkul, der bei einer Lufttemperatur von -34° C. nicht zugefroren war und eine Wassertemperatur von -11° zeigte. Diese konzentrierte Salzsole dürfte selbst bei intensivster Sonnenbestrahlung nur eine geringe Menge Wasser durch Verdunstung verlieren.

Bei geringerem Salzgehalt aber ist die Sonne leicht im Stande, die dünne Wasserschicht des durch periodische Ueberflutung gebildeten Binnensees zu

[1]) Kiepert, Zeitschr. der Gesellschaft für Erdkunde. Berlin 1874. S. 267.

[2]) Peterm., Geogr. Mitt. 1889, S. 35.

verdunsten und ihn trocken zu legen. So entstehen die »Seen ohne Wasser«, die »dry Lakes« der Reisenden, die »daya« der algerischen Beduinen.[1]) Diese Trockenseen sind eine charakteristische Erscheinung der an paradoxen Phänomenen so reichen Wüstenländer. Oft nur wenige hundert Meter breit, manchmal viele Kilometer im Durchmesser, liegt vor uns ein völlig ebener Boden. Kaum merklich steigt er bis zum Fuss des Gebirges, das steil aus ihm emporragt. Ueberall sehen wir die Spuren von riesigen Wasserfluten, kaum entkantete Blöcke in ungeschichteten Sand- und Schuttlagern, gewaltige Anhäufungen klastischer Sedimente, Konglomerate von 500 m Mächtigkeit. Kein Wunder, dass der Wüstenreisende angesichts so »deutlicher« Wasserwirkungen geneigt ist, alle Wüstenerscheinungen durch solche Wasserfluten zu erklären.

Wenige Reisende haben Gelegenheit, in der Wüste einen Wolkenbruch zu erleben, und obwohl ich selbst nur ein einziges Mal Zeuge eines kurzen Gewittergusses war, so kann ich doch aus eigener Erfahrung betonen, wie wenig man bei einer solchen Katastrophe zum ruhigen Beobachten geeignet ist. Die Sorge um die Karawane, um die Notizbücher und Apparate tritt so gebieterisch in den Vordergrund, dass man fast von der Erregung der Beduinen angesteckt wird. Dann folgt die kalte Nacht auf dem nassen Boden, am folgenden Tag die Mühsale der durch den Regen zerschnittenen und vielfach unwegsam gewordenen Pfade, — kurzum, man wird während und nach einer solchen Katastrophe zu sehr von anderen Interessen beschäftigt, um mit Ruhe beobachten zu können. So erkläre ich mir, dass selbst erfahrene Wüstenreisende die geologische Bedeutung der seltenen Wolkenbrüche unterschätzen und nach einer anderen Erklärung suchen. Und es entsteht die Hypothese einer »Pluvial period«, der »tropischen Regengüsse« und anderer klimatischer Annahmen, die bei genauerer Analyse durch die begleitenden Umstände leicht widerlegt werden. Wenn aber der Reisende wochenlang immer wieder dieselben Trockenseen findet, wenn die Karawane tagelang über die trockenen Schuttmeere reitet, dann ist man geneigt, die Wirkung wiederholter, lokaler, und temporärer Wolkenbrüche für das Resultat gleichzeitiger, allgemein verbreiteter Ueberschwemmungen zu halten, und so entsteht die bekannte Theorie eines »Saharameeres«.

Sobald man aber die Meteorologie des gegenwärtigen Wüstenklimas sorgfältig studiert, werden alle diese Annahmen hinfällig, und die Häufigkeit der Trockenseen zeigt uns nur, wie lange Jahrtausende schon dasselbe Klima in der Wüste herrschte, das wir jetzt noch dort finden.

Indem bei den periodischen Ueberschwemmungen der ebenen Trockenseen riesige Flächen katastrophenartig unter Wasser gesetzt werden und dann beim Austrocknen des Sees wieder ebenso grosse Flächen nach und nach vom

[1]) Rolland, Hydrologie der Sahara algérienne. Paris 1894, S. 28.

Wasser verlassen werden, bilden sich auf dieser ganzen Bodenfläche der periodisch Wasser führenden Trockenseen jedesmal Erscheinungen aus, die der Geologe als Strandbildungen zu betrachten gewohnt ist. Im Gegensatz zu einer dränierten Gegend, wo der Strand ebenso lokalisiert ist, wie der Umriss und die geographische Position eines Sees, im Gegensatz zum Weltmeer, dessen Spiegel nur durch langsame geologische Veränderungen transgredierend oder regredierend auf- und absteigen kann, sind die Umstände bei der Bildung und beim Verschwinden eines solchen, unter tumultuarischen Wolkenbrüchen entstandenen Wüstensees derart, dass die ganze Grundfläche des Sees jedesmal »Strand« wird und an jedem Punkt der daselbst gebildeten Ablagerungen die Merkmale einer »Strandbildung« erkennen lässt.

In vollkommen richtiger Würdigung dieser Umstände sind von Geologen viele Ablagerungen als Strandgebilde betrachtet worden, die über so weite Flächen dieselben Charaktere tragen und in so häufiger Wiederholung »Strand« gewesen sein müssen, dass jede genetische Betrachtungsweise hier zur Annahme von vielen und wiederholten Oscillationen gezwungen wird, die das Mass eustatischer Meeresbewegungen weit überschreiten. Früher hat man Hebungen und Senkungen, später positive und negative Strandverschiebungen zur Erklärung eines so häufigen Wechsels klastischer und chemischer Sedimente angenommen, aber in beiden Fällen sah man sich zu allgemeinen Folgerungen gedrängt, die an die Kataklysmen eines Cuvier, an die Schaukelbewegungen eines L. von Buch erinnerten. Wenn wir die recenten Vorgänge in den abflusslosen Gebieten vorurteilsfrei betrachten, dann sehen wir hier, ganz unabhängig von den tektonischen Bewegungen der Erdrinde oder von den eustatischen Bewegungen des Ozeans, eine Aufeinanderfolge von Strandbildungen regional entstehen, die nur durch die klimatische Bilanz eines trockenen Klimas erzeugt werden.

Zwischen den vollkommen austrocknenden Seen im Innern grosser Wüsten und den nur teilweise verschwindenden Wasserflächen giebt es zahllose Uebergänge, die wir nicht im Einzelnen behandeln wollen, denn es gilt noch die dauernden Zuflüsse der Binnenseen zu besprechen.

Von der Fläche des salzigen Aralsees[1]) verdunstet in jedem Jahre eine Wasserschicht von 1150 mm; von dem Süsswasser des Amudarja 1278 mm; dieses genauer untersuchte Beispiel mag erläutern, wie kräftig eine Quelle in der Wüste fliessen muss, wenn sie einen beständigen Abfluss erzeugen soll. Faktisch ist kein Quellgebiet innerhalb der echten Wüste wasserreich genug, um diese Bedingungen zu erfüllen. Daher wird der Fall selten eintreten, dass durch Wüstenquellen ein dauernder Binnensee gespeist werden kann.

Aber die an die Wüste grenzenden Klimagebiete, das wasserreiche Tropenland und die gemässigte Zone mit ihrer geringen Verdunstung und ihren

[1]) Schmidt und Dorandt, Wassermenge und Suspensionsschlamm des Amudarja. Mem. Acad. Imp. St. Petersbourg. XXV, No. 3, S. 47.

reichen Niederschlägen, oder auch hohe Gebirgsländer, die mitten in dem Wüstengürtel emporragen, sie alle liefern wasserreiche Flüsse, die zum Teil ihren Weg nach den abflusslosen Gebieten nehmen. Wir kennen aus der Gegenwart zwei Beispiele, dass solche Flüsse trotz der intensiven Verdunstung den Wüstengürtel durchschneiden, und zwar wasserärmer wie in ihrem Oberlauf, doch noch mit energischer Strömung das Weltmeer erreichen: der Nil in Afrika und der Colorado in Nordamerika. Alle übrigen Flüsse der Gegenwart,[1]) deren Stromgebiet nach dem Wüstengürtel abgedacht ist, finden darin ihr Ende, und alle lithogenetischen Prozesse, die innerhalb des weiten Stromgebietes eingeleitet wurden, werden abgeschlossen in den abflusslosen Becken.

Wenn wir nach den geologischen Ursachen der Bildung von abflusslosen Binnenseen suchen, so müssen wir zwei Gruppen von Fällen scharf unterscheiden.

Es kann erstens ein wohldräniertes Gebiet durch klimatische Aenderungen abflusslos werden und unter die Herrschaft des Wüstenklimas gelangen. Dieser Vorgang dürfte an den Rändern der Wüstengebiete häufig vorkommen. Alle Verschiebungen der Wüstengrenzen müssen entweder abflusslose Randzonen dem Ozean angliedern, oder wohldränierte Gebiete abflusslos machen. Ebene Landstrecken werden diesem Einfluss leichter unterliegen, als bergige Gebiete, und sogar Meeresbuchten können vom Ozean abgetrennt und einer Wüste angegliedert werden. Es sind eine ganze Reihe von Fällen bekannt, wo kleine Meeresbuchten abgeschnürt und als marine Relikte dem benachbarten Wüstenland angegliedert wurden. Kleine Salzseen am Ufer des Roten Meeres (Raui, Scheduan) oder an der südamerikanischen Küste (Coquimbo) werden bei hoher Flut mit Seewasser gefüllt, das dann in ihnen verdunstet. Aber nirgends erreichen solche Reliktenseen grössere Dimensionen, nirgends sehen wir sie eine grössere Uferstrecke begleiten. Die Ursachen hierfür liegen in der Abrasion, denn die sturmgepeitschten Wellen bearbeiten jede »Barre«, die vom offenen Meere eine Bucht abgetrennt hat; entweder bleibt der See gänzlich isoliert, oder er wird wieder mit dem Meere vereinigt. Die von Ochsenius mit soviel Nachdruck verfochtene Ansicht, dass eine Barre am offenen Meere Bestand habe und bei allen Abrasionsvorgängen und allen Oscillationen des Meeresspiegels persistieren könne, widerspricht aller Wahrscheinlichkeit und lässt sich aus der Gegenwart an keinem Beispiel belegen. Der vielgenannte Karbugas ist die Bucht eines abflusslosen Binnensees und wird uns noch von diesem Gesichtspunkt aus wichtige Aufschlüsse geben.

Grundverschieden von den soeben gekennzeichneten Vorgängen ist der Prozess einer Binnenseebildung innerhalb einer Wüste. Im Gegensatz zu den

---

[1]) Es mag darauf hingewiesen werden, dass manche Flüsse nur während der trockenen Jahreszeit versiegen, oder in eine Kette von Wasserlachen sich zerteilen, wie die bekannten Beispiele aus Australien zeigen.

peripher angegliederten Binnenseen könnte man sie als interne Binnenseen bezeichnen. Als durch die tektonische Grabenversenkung des Ghor die Flüsse des Libanongebietes gezwungen wurden, direkt nach Süden zu fliessen und hier mehrere hundert Meter unter dem Meeresspiegel sich zu sammeln, da würde in einem regenreichen Klima gar bald der Jordan einen langen Meridiansee gebildet haben, der schliesslich nach Süden durch das Uadi Arabah, oder nach Westen hin abfloss. Aber die Wasser strömten nach einem Wüstengebiet, in dem die Verdunstung grösser ist, als die Zuflüsse. Zwar bildete sich ein See, aber sein Spiegel liegt 390 m unter dem Meere, und wenn er auch in der Diluvialzeit, wie das Blankenhorn [1]) so genau untersucht hat, einmal viel wasserreicher war, so hat er doch seinen Charakter als abflussloser, tektonisch entstandener Binnensee immer gewahrt.

Zu den intern entstandenen Binnenseen gehören aber auch die durch Deflation ausgehobenen Mulden. Gilbert [2]) hat zuerst nachgewiesen, wie in Arkansas »Seebecken« durch den Wind ausgehoben werden, und dieser Vorgang spielt meines Erachtens eine sehr grosse Rolle bei der Binnenseebildung.

Endlich kann durch einen Wolkenbruch innerhalb der Wüste ein Thal mit Schottermassen abgesperrt und dadurch zum Binnensee werden. Das obere Uadi Feiran am Sinai, dessen Abhänge bis 50 m über der Thalsohle mit Resten alter Schottergebilde bedeckt sind, war allem Anschein nach einmal ein periodisch abgedämmter langgestreckter See, der nach kurzem Bestand wieder abfloss, und dessen Sedimente zum grossen Teil wieder ausgeräumt wurden.

Ich wage hier kein Urteil abzugeben, wodurch seinerzeit der Lake Bonneville und Lake Lahontan in Nordamerika abflusslos wurden, aber so viel geht aus dem bisher Gesagten hervor, dass die intern entstandenen Binnenseen, im Gegensatz zu den peripherisch angegliederten Seebecken, charakteristisch für die Wüste genannt werden müssen. Sie liegen bald hoch über dem Meere, bald tief unter dem Spiegel des Ozeans, sie sind gross oder klein, können Wasser führen oder teilweise trocken liegen, aber immer sind sie die Sammelbecken für alle klastischen und chemisch gelösten Produkte der Verwitterung und werden allmählich notwendig ausgefüllt von mechanisch entstandenen oder chemisch abgeschiedenen Sedimenten.

Ein abflussloser Binnensee wird vergrössert durch die Zuflüsse; und jede klimatische Aenderung, welche die Niederschläge vermehrt, oder jede Verlagerung der Wasserscheide, welche neuen Zufluss heranleitet, erhöht das Niveau desselben.

Verkleinernd wirken verschiedenartige Ursachen. Wenn wir tektonische Bewegungen ausser acht lassen, so sind es einerseits die Verdunstung und Versickerung, andererseits die Ausfüllung mit Sedimenten, die seine Form verändern.

---

[1]) Zeitschrift des Deutschen Palästina-Vereins. XIX. 1896, S. 31.

[2]) Gilbert, Journal of Geology 1895, III, S. 47.



34. Kalksinterkruste am Ufer des Pyramidensee's (Nevada).



35. Kalksinterabscheidungen am Boden des Lake Lahontan.

Dieselben Ursachen, welche die Menge der Niederschläge vermindern, erhöhen gleichzeitig die Grösse der Verdunstung, und so ist es leicht verständlich, wie in einer relativ kurzen Zeitepoche der 300 m tiefe Lake Bonneville auf seine jetzige Tiefe von 12 m zusammenschrumpfen konnte, oder wie das aralocaspische Riesenbecken, dessen Muscheln bei Baku 113 m über dem jetzigen Spiegel gefunden wurden, dessen Spuren bis nach Samara reichen, sich so verkleinern konnte. Vom Balkasch-See[1]) wird berichtet, dass in jedem Jahr 1300 Millionen Kubikmeter mehr Wasser verdunsten, als die Zuflüsse herbeizuführen vermögen, so dass sein Spiegel in den letzten 15 Jahren um 1 m gesunken ist.

Nicht minder intensiv arbeitet die Sedimentbildung an der Verkleinerung der Binnenseen.

Das Akuscha-Delta[2]) am Caspisee ist in den letzten 33 Jahren um 3—4 km vorgerückt, und nördlich von Kura ist ein Landzuwachs von 11—13 km nachzuweisen.

Der hohe Salzgehalt vieler Wüstenseen bringt die mit den Flüssen herbeigetragene Flusstrübe in kurzer Zeit zum Niederschlag und bewirkt ein rasches Wachsen aller litoralen Sedimente. Alle dem See zugeführten Sedimente dienen nur dazu, um seinen Wasserstand dauernd zu verändern und seinen Umriss umzugestalten. Keine Kraft vermag irgend ein Teilchen aus dem Binnensee herauszutragen, es müsste denn die Deflation sein, die aber auf feuchten Strandflächen unwirksam ist. Und so füllen sich abflusslose Seen viel rascher mit klastischen Sedimenten an, als es bei einem dränierten See möglich ist. Die Bucht von Aibugir[3]) am Aralsee war 1858 ganz mit Wasser bedeckt, 1873 fand man daselbst festen Boden mit Bäumen bewachsen.

Wenn wir erwägen, wie sehr die obengenannten fünf Faktoren durch klimatische Ursachen verändert werden, so wird es selbstverständlich erscheinen, wenn wir die Unbeständigkeit des Seespiegels bei Binnenseen als die Regel bezeichnen. Mag diese Veränderlichkeit auch nicht immer in einem vollständigen Verschwinden des Sees ihren Ausdruck finden, so wandeln sich doch Wassertiefe und Umrisse so leicht, dass selbst die kartographische Position eines Binnensees, wie wir gesehen haben, grossen Veränderungen unterworfen sein kann.

Die Oberfläche der Seen in einem regenreichen Klima lässt eine gewisse ununterbrochene Strömung erkennen, die, je nach dem Neigungswinkel des Flussspiegels mehr oder minder ausgeprägt, den oder die Punkte der Zuflussmündungen mit dem Abflusskanal verbindet. Dieses scheinbar selbstverständliche Verhalten ändert sich bei abflusslosen Seen, denn diese verlieren Wasser nur durch Verdunstung. Bei grösseren Binnenseen, wo die Intensität der Verdunstung an verschiedenen Buchten verschieden gross sein kann, muss eine beständige

[1]) Compt. Rend. de l'Acad. Paris 1886. II, S. 1045.

[2]) Radde, Fauna und Flora des SW.-Caspigebietes.

[3]) Kiepert, Zeitschr. der Gesellsch. für Erdkunde. Berlin 1874. S. 267.

Oberflächen-Strömung von den Zuflusskanälen nach dem Gebiet der grössten Verdunstung erfolgen.

So kommen z. B. die Zuflüsse des Caspi von S., W. und NW., während die ganze Ostküste so gut wie keine Zuflüsse besitzt. Gleichzeitig finden wir hier die ganze Küste von einer vegetationslosen Wüste gebildet, und diese muss wie ein Aspirator auf die gesamte Wassermenge des Caspi wirken. Einen klaren Ausdruck findet dieser Prozess in der Verteilung des Salzgehaltes, der[1]) am

	Wolgadelta	1,4 ‰
	S. von der Uralmündung	6,2 ‰
	bei Derbent	12,4 ‰
	im Kaidakbusen	56,2 ‰
	im Karabugas	150,0 ‰

Es lässt sich sonach aus der Verteilung des Salzgehaltes an der Oberfläche eines Binnensees ohne weiteres ein Bild über die Strömungsverhältnisse gewinnen, wenn man die Punkte der Zuflussmündungen, die den Minimalsalzgehalt besitzen, mit den Stellen des Sees verbindet, welche das Maximum des spezifischen Gewichtes zeigen.

Sehr interessante Wirkungen haben solche Strömungen dann, wenn einzelne Buchten durch eine Nehrung abgetrennt werden. Wie ein Blick auf die Karte lehrt, und wie ich es auch im Einzelnen an der Ostküste des Caspi beobachten konnte, wachsen hier lange Sandzungen durch das Phänomen der Wandersände an allen Vorsprüngen der Küste heraus. Die hier vorwiegenden NW.-Winde finden ihren Ausdruck in der langen, vom Schiffe aus kaum erkennbaren Sandbarriere, welche von Krasnowodsk etwa 35 km nach S. reicht und die Bucht von Krasnowodsk von dem stürmischen Meere abgrenzt. Blickt man von dem beinahe senkrecht 200 m hinabstürzenden Steilrand des Kuren-dagh auf die blaue Bucht, so sieht man die rotgelbe Sanddüne in herrlichem Farbenkontrast das tiefdunkle Wasser teilen und eine ähnliche Sandzunge von der fernen Insel Tscheleken nach NON. wachsen. In dem Balchanbusen und der vielgegliederten Bucht von Usunada reicht der Meerbusen 100 km weit landeinwärts, und da ihm von dieser Seite keine dauernden Zuflüsse zuströmen, so muss es in späteren Zeiten zu einem weitergehenden Abschluss desselben kommen. Dieser hier noch unvollendete Vorgang hat nördlich von Krasnowodsk schon sein Ende erreicht. Zwei gegeneinander wachsende Nehrungen haben sich bis auf 100 m genähert[2]) und einen 5 km langen Kanal offen gelassen, das gefürchtete »schwarze Thor« oder Karabugas. So ist ein Haff entstanden, wie wir solche an unserer norddeutschen Küste beobachten können — aber wie so vieles Andere, so sind auch die Haffe eines abflusslosen Gebietes von den uns bekannten Haffbuchten grundsätzlich verschieden. In einem regen-

[1]) Roth, Allg. und Chem. Geologie. I., S. 465.

[2]) Andrussow, Peterm. Geogr. Mitteil. 1897. 2, S. 27.

reichen Klima strömt das Wasser aus dem Haff heraus nach dem Meer, in einem abflusslosen Binnensee findet das Umgekehrte statt. Das Wasser des Caspi strömt während des ganzen Jahres in den Adschi-darja, mit einer Geschwindigkeit von 24 m im November,

36 m im Januar,

44 m im Februar.

Eine ganze Kette solcher Haffe wird besonders im südlichen Ufergebiet des Caspi gebildet, und wenn wir diesen Vorgang erdgeschichtlich betrachten, so ergiebt sich folgendes Bild: Ein früher von Constantinopel bis Taschkent und von Persien bis Samara reichender Binnensee wurde später zerlegt in die drei Becken des Pontus, Caspi und Aral. Das erstere gliederte sich, wie die Untersuchungen von Andrussow gezeigt haben, dem Weltmeere an, die beiden anderen blieben abflusslos. Der Caspi grenzt mit seiner 1200 km langen Ostküste an eine Wüste, und alle Salze, die durch die Wolga, den Terek, den Kur und andere Flüsse dem Becken zugeführt werden, strömen nach dem durch hohe Verdunstung ausgezeichneten Ostufer. Eine lange Kette von Buchten werden zu Haffen verwandelt, in die die starke Salzlösung hineingesaugt wird, um darin immer mehr eingedampft zu werden. Von der Wüste dringt transgredierend das Sandmeer der Karakum heran, und wie Streusand auf frische Schrift wirkt der trockene Sand auf die Salzseen. Es entsteht eine Kette von Salzstöcken und Gypslagern, die den klastischen Sedimenten des Binnensees aufgelagert und von Sandsteinen überlagert werden.

Und alle diese Vorgänge spielen sich ab, ohne dass eine Hebung und Senkung der Erdrinde oder eine Oscillation des Ozeans dabei irgendwie thätig wäre.

7. Die Flora der Wüste.

Der Begriff einer »Wüste« ist so eng verknüpft mit der Vorstellung völligen Pflanzenmangels, dass jeder, der zum ersten Mal ein Wüstengebiet betritt, je nach dem Vegetationscharakter desselben überrascht oder enttäuscht ist. Die braune, steinige Hamada, der kiesbesäte Sserirboden, das blendende Weiss des salzigen Takyrs, das eintönige gelbe Sandmeer und die kahlen, phantastisch zerfressenen Felsen wirken anfangs auf das Gemüt durch ihre abstossende Leblosigkeit gewaltsam ein. Aber wenn wir in die blütenreichen Trockenthäler kommen, deren Nähe der würzige Duft von Artemisia auf Kilometer weit verrät, oder wenn wir auf das Hochplateau der Galala hinaufsteigen und uns hier von blühenden, grünenden Pflanzen überall umgeben sehen, dann möchten wir nicht glauben, dass wir uns in einer Wüste befinden.

Noch auffallender wird die Vegetation der Wüste, wenn wir sie im Wechsel der Jahreszeiten betrachten. Man kann sich kaum etwas Trostloseres vorstellen, als die wüste Ebene, die man längs der transcaspischen Bahn auf der Fahrt vom Caspi nach dem Amudarja im Spätsommer erblickt. Dürr und blattleer sind die niedrigen Kräuter, die auf dem steinigen Boden bei Djebel und Perewal verstreut sind. Silbergraue, pflanzenleere Thonebenen erstrecken sich meilenweit am Fusse des Kopetdagh, braun und pflanzenlos erscheint das weite Hochplateau, das mit 200 m hohen senkrechten Abstürzen bei Krasnowodsk endet.

Wie ganz anders klingt die Schilderung, die A. Walter[1]) von derselben Landschaft im Frühjahr entwirft: »Die Lehmsteppe ist durch einen Blütenflor von Liliaceen und Colchicaceen ausgezeichnet, vornehmlich verschiedener Arten von Tulipa, Colchicum, Muscari und Gagea, ferner durch Iris, Bongardia, Leontice und eine Reihe von Cruciferen, besonders Lepidien. Auf sie folgen später Papaver und Roemeria, schliesslich eine Reihe von Delphinien. — Aber schon mit dem Mai sind diese Blütenpflanzen bis auf einige Centauren und Cirsien versengt.«

So wechselt der Vegetationscharakter der Wüste nach Ort und Zeit, und pflanzenreiche, pflanzenarme und pflanzenleere Flächen sind durch allmähliche

[1]) Radde u. Walter. Die Vögel Transcaspiens. S. 166.

Uebergänge mit einander verbunden. Es ist für das Ziel dieser Abhandlung von besonderer Wichtigkeit, dass auch tropische Wälder und nordische Tundren den abflusslosen Wüsten angegliedert sein können, und dass die verweste Cellulose aus den Wäldern des Ural durch die Wolga ebenso in der caspischen Depression zur Ablagerung kommt, wie der Humus aus den üppigen Urwäldern von Masenderan. Ein Gürtel von Steppen umgiebt die pflanzenarmen Flächen der Wüste, steinige Halbwüsten und Halbsteppen bilden vermittelnde Uebergänge, und man muss sich frei machen von dem Vegetationscharakter des einzelnen Landschaftsbildes, um das Gesamtbild richtig würdigen zu können.

Fünf wesentliche Ursachen bedingen die Pflanzenarmut der Wüste:

1. Die Seltenheit des Regens und Taues,
2. die Stärke der Sonnenbestrahlung,
3. die Heftigkeit trockener Winde,
4. die Beweglichkeit des Bodens,
5. der Salzgehalt des Bodens.

Die Seltenheit atmosphärischer Niederschläge, von Regen und Tau, Hagel und Schnee, charakterisiert das Wüstenklima, verursacht die wichtigsten geologischen Erscheinungen in der Wüste und bewirkt jenen Pflanzenmangel, der dem Wüstenreisenden zuerst in die Augen fällt. Bild 30 giebt die Uadi vegetation in einem Thal der südlichen Sinaihalbinsel treffend wieder. Wir sehen die sandige, mit Kieseln besäte, fast horizontale Thalsohle, die durch gelegentliche Wolkenbrüche mit Schutt erfüllt wurde, den der Wind dann gleichmässig einebnete. Vereinzelte Büsche stehen in 5 m breitem Abstand von einander, und nur im Hintergrund deutet eine fortlaufende Buschreihe an, dass im Sande ein Strom von Grundwasser langsam dahinsickert. Die gelbe Thalsohle mit grünen Büschen gesprenkelt, hebt sich scharf ab von den roten Granitwänden der Berge. Vergleiche auch die Bilder 5, 21, 34, 41, 44 und 47.

Die meisten Reisenden werden durch den Mangel des Blattgrüns in der Wüstenlandschaft dazu geführt, den Farbenreichtum der Wüste zu übersehen, und sind erst wieder beruhigt, wenn sie in einem langgestreckten Trockenthal die blaugrünen Salsulaceen und grauen Artemisien wiedersehen, oder wenn sie aus der Ferne das dunkle Grün einer steifen Palmengruppe, das stachelige Genist sperriger Akazien bemerken. Und doch ist gerade der Mangel des Pflanzenwuchses und das damit zusammenhängende Fehlen einer Schutt- und Humusdecke auf den Felsen der Grund für jenen grossartigen Farbenreichtum einer Wüstenlandschaft. Dunkelrote Granitwände werden durchschwärmt von vielverästelten grünen oder braunen Eruptivgängen, eine Decke von braunroten Konglomeraten und gelben Sandsteinen wird überlagert von blendendweissen Kreidekalken, bunte Mergel zeigen leuchtende Bander von grüner, karminroter oder grauschwarzer Färbung, Verwerfungen durchsetzen die horizontalen Schichten oder Flexuren biegen sie weit unter das Niveau der Wüstenebene, und über diesem bunten Farbenmosaik liegt ein Meer von

Licht ausgebreitet, das die grellsten Farbenkontraste mildert und mit duftigem Schleier das Nahe fern und das Ferne greifbar nah erscheinen lässt. Geht aber die Sonne zu Rüste, dann durchleuchten ihre warmen roten Strahlen das ganze Berggefüge. Wie durchscheinende Glasbilder erscheinen die Silhouetten kühn gezeichneter Gebirgsgruppen, und langsam verklingen die sanften violetten Farben des Horizontes auf dem goldig schimmernden Grün des östlichen Abendhimmels.

Während im Polarland alle horizontalen Flächen pflanzenleer sind, weil nur die Böschung der Berge so viel Wärmestrahlen aufzufangen vermag, wie die Vegetation braucht, ist in der Wüste hingegen ein Berggehänge umso kahler, je steiler es aufragt und je mehr es von den Strahlen der Sonne durchglüht wird. Nur die Nordseite der Berge trägt eine reichere Vegetation, und schattige Thäler, geschützte Mulden sind günstig für die Ansiedelung von Pflanzen.

Da die meisten Wüstenpflanzen mit langen Wurzeln die geringen Spuren von Bodenfeuchtigkeit aufzusaugen verstehen, ist die wasserführende Sohle der Trockenthäler in der Regel durch ein grünes Band isoliert stehender Büsche markiert, und überall, wo Grundwasser als sogenannte »Quelle« zu Tage sickert, oder wirklich eine sprudelnde Wasserader dem Felsenspalt entquillt, da siedeln sich Schilf, Gras, Akaziengestrüpp und kleinere Sträucher an. Kommen wir nach ermüdender Wanderung durch die hohen gelben Sanddünen bei Mollahkari nach dem nahen Salzsee, so erblicken wir seine weisse Salzdecke und sein dunkles Wasser, umstanden von einem Gürtel grünender und blühender Tamarisken, saftiger Schilfgewächse, von Binsen und Ephedrasträuchern. Wenn wir von Needles, in der pflanzenarmen Mohavewüste, nach dem Colorado reiten wollen, dann machen dichte Schilfbestände bald jedes weitere Vordringen unmöglich, und zwischen den hohen Schilfbüschen schwindet jede Möglichkeit, sich zu orientieren.

Da alle höheren Gebirge mehr Niederschläge erhalten, als die Wüstenebenen, so erfreut uns auf der 2000 m hohen Hochebene der Galala eine reiche, blühende Vegetation, und auf dem Plateau des Grossen Balchan fand Walter dichte Wälder von Juniperus.

Auch im Wechsel der Jahreszeiten macht sich die Abhängigkeit des Pflanzenwuchses von den Niederschlägen geltend, und die bunte Frühlingsflora Transcaspiens steht in grellem Gegensatz zu der öden Dürre am Ende des Sommers. Die Heftigkeit der Wüstenstürme trocknet zwar diese vergängliche Vegetation rasch zusammen, verbreitet aber auch dafür alle die kleinen Samen überallhin, rollt die kugelige Frucht der Koloquinten wie einen Spielball über die Ebene, und säet nach jedem Sturm Millionen von Samen in alle Felsenritzen, wo sie des ersten Regens warten, um rasch emporzukeimen. Aber selbst die perennierenden Pflanzen bedürfen nach Schweinfurth mindestens innerhalb 8 Jahren eines Regengusses, um ihr Leben zu fristen. In Anpassung an den heftigen Wind sind die Blätter aller perennierenden Wüstenpflanzen

kurz, schuppenartig, schmal und pfriemenförmig oder sind mit einem dichten Pelz weisser Haare bedeckt. Elastische Gewebe geben Aesten und Zweigen eine starke Biegsamkeit, und lange Wurzeln verankern den Busch im Boden.

Am verderblichsten ist die Beweglichkeit der lockeren Schutthalden und der wandernden Dünen für viele Pflanzen. Deshalb sind nur ruhende Dünengebiete und flachgeneigte, zusammengesunkene Schuttkegel reichlicher mit Pflanzen bewachsen.

Der Salzgehalt des Bodens ist fast überall bemerkenswert, nimmt aber in den Depressionen stark zu. Nach Schweinfurth[1]) bilden nur die über 1000 m hohen Kalksteinplateaus der arabischen Wüste, das Litoral des Mittelmeeres und die Sohle aller Thäler eine Ausnahme von diesem Salzgehalt. Alle anderen Böden haben einen durchschnittlichen Gehalt von 2% an leichtlöslichen Verbindungen, und wenn dieser salzreiche Boden beständig feucht bleibt, so vermögen manche Wüstenpflanzen noch darauf zu gedeihen. Erst bei 4% Salzgehalt ist feuchter Boden gänzlich pflanzenfrei, während ein abwechselnd feuchter und austrocknender Boden schon bei 1% Salzgehalt steril bleibt.

Wenn man erwägt, wie diese fünf Ursachen der Pflanzenarmut in mannigfaltiger Verbindung bald stärker, bald schwächer auftreten, dann wird man verstehen, dass die Flora der Wüste einen sehr verschiedenartigen Charakter annimmt.

Aber schon in den Halbwüsten und Steppen macht sich eine wichtige Eigenschaft der Wüstenflora geltend, indem alle Pflanzen isoliert voneinander wachsen und nirgends geschlossene Vegetationsdecken bilden. Der enggefügte Wald hochstämmiger Bäume, der dichte Rasen verfilzter Gräser, die geschlossene Haide und Moosdecke fehlen der Wüste vollkommen. Durch enge oder weitere Zwischenräume getrennt, steht meistens Pflanze neben Pflanze, Busch neben Busch, Baum neben Baum, und nur wenn wir uns dem Ufer des Amudarja oder des Colorado nähern, schliessen sich 4 m hohe Schilfgewächse zum undurchdringlichen Djungel. So erscheint selbst eine pflanzenreiche Halbwüste wie gesprenkelt, und auf meilenweite Entfernung unterscheidet man die einzeln stehenden Büsche (vergl. die Bilder 1, 5, 9, 21, 30, 34, 41, 44, 47).

Die Flora wasserreicher Thäler und die Regenflora, die sich auf den Thonebenen von Turkestan im Frühjahr entwickelt, unterscheidet sich sonst sehr wenig von dem Charakter der europäischen Pflanzenwelt. Zarte hellgrüne Blätter und bunte duftende Blüten scheinen im Gegensatz zu der öden Wüste ganz besonders zauberhaft aus dem Boden zu spriessen. Und welche Fruchtbarkeit der gut bearbeitete und dränierte Wüstenboden zu entwickeln vermag, das haben in der Vorzeit die Bewohner von Samarkand und Merw, die Bewohner des Nilthals und Persiens bewiesen. Das haben die Mormonen am

[1]) G. Schweinfurth. Public Works Dep. Cairo 1891. App. XIII. On the Salt in the Wady Rayan.

Grossen Salzsee gezeigt. Mit dem Zauberwort »Irrigation« erschliesst das junge Nordamerika riesige Wüstenländer den Segnungen der Kultur, und mit grossartigen Bewässerungsanlagen verwandelt Russland das verödete Transcaspien in einen fruchtbaren Garten.

Die wunderbare Anpassungsfähigkeit der organischen Natur hat freilich auch Mittel gefunden, um die Gefahren des Wüstenklimas zu besiegen, und so zeigt fast jede Wüstenpflanze sinnreiche Einrichtungen, um ihr Leben unter so ungünstigen Verhältnissen zu erhalten. Die Einen bilden Knollen und Zwiebeln, fleischige Wurzeln und unterirdische Rhizome, die im Boden vor den austrocknenden Strahlen der Sonne geschützt sind. Aus ihnen sprossen beim ersten Regen Blätter- und Blütenstände hervor, bilden Reservestoffe und Samen, und nach kurzer Vegetationsdauer zieht sich das Leben wieder unter die Erde zurück.

Manche Pflanzen, die sonst nur krautartige Gewächse bilden, erzeugen in Anpassung an das Wüstenklima verholzte Stengel. So nach Schweinfurth Erodium arborescens, Atriplex halymus, Zygophyllum und Pelargonium. In Argentinien kommen sogar verholzte Kompositen vor. Grössere Holzgewächse zeigen im Querschnitt eigentümliche Deformationen, lappige Rippen und Wülste, Furchen und Vertiefungen. Das dünne Holz ist splitterig, und grosse Ephedrastämme lassen sich oft ganz leicht umbrechen. Werden solche Stämme bei einem Wolkenbruch entwurzelt und mit den schlammigen Fluten weithin verflösst, um endlich in einem Konglomerat eingebettet zu werden, dann dürfte der Mangel aller Wurzeln und Aeste, die enge Aufeinanderfolge der Jahresringe und die zerrissene Beschaffenheit des Holzes Hinweise auf die Entstehung geben.

Viele Wüstenpflanzen haben harzreiche Stengel, besetzt mit kurzen Blattschuppen oder zu Dornen verwandelten Zweigen. Selbst grosse Akazien bieten mit ihrem dürren Geäste (s. Bild 5) keinen Schatten vor den Strahlen der Sonne, und doch munden die dornigen Zweige den Dromedaren ebenso, als wenn es saftiges Wiesengras wäre.

Bei vielen Wüstenpflanzen schützt eine lederartige, oft verkorkte Epidermis oder ein dichter weisser Haarfilz das Gewebe vor dem austrocknenden Wind, oder dünne Krusten hygroskopischer Salze[1]) halten Spuren von Luftfeuchtigkeit fest.

Riesenlange Wurzeln reichen bis hinab auf die Grundwasserzone und fördern von dort die nötige Menge von Wasser herauf. Ueberall, wo sich der Schatten von Bergen und Felswänden länger hält, da siedeln sich reichlichere Pflanzen an (vergl. die beiden Thalwände auf Bild 18). Während bei unsern Pflanzen eine geringe Masse mit einer sehr grossen Oberfläche verbunden ist, waltet bei vielen Wüstenpflanzen das umgekehrte Prinzip, und ein kugeliger Echinocactus erfüllt so ziemlich alle Bedingungen, um die grösste Pflanzenmasse in die kleinste verdunstende Fläche einzuschliesssen (s. auch Bild 36).

---

[1]) Volkens, Zur Flora der äg.-arab. Wüste. Sitzungsb. d. Acad. d. Wissensch. Berlin 1886. S. 63.



36. Cereus giganteus bei Tucson.



37. Kurgan an der sibirischen Bahn.

Indem die Pflanzen der Wüsten und Steppen sich gegen die heftigen Winde durch einen möglichst dichten Schopf von Wurzelhaaren schützen, andere Pflanzen sich mit ihren langen Wurzeln in den Grund verankern und den beweglichen Erdboden festzuhalten suchen, entsteht die sehr häufige Erscheinung, dass man kleinere oder grössere Pflanzen auf einem Hügel lockeren Sandes oder Lehmstaubes stehen sieht. Zahllose fusshohe Polster bilden den Sockel von Grasbüscheln, bis 10 m hohe »Neulinge« werden von den Wurzeln grosser Sträucher zusammengehalten.

An der Grenze der Wüste, wo die Gewalt der Stürme erlahmt und zugleich die letzten Typen der Wüstenpflanzen in reicher Fülle gedeihen, gewinnt die bodenbindende Kraft der Steppenvegetation eine ganz besonders hohe geologische Bedeutung. Ich brauche nur den Namen F. von Richthofen zu nennen, um die geologische Thätigkeit lössanhäufender Pflanzen zu kennzeichnen, die wir später noch eingehend betrachten werden.

So muss auch die unterirdische Zwiebel- und Knollenflora der im Frühjahr überschwemmten Thonebenen jedesmal um so viel nach oben rücken, wie die Dicke der abgelagerten Schlammschicht beträgt, und mag hierbei das Wachsen der Takyrböden nicht unwesentlich unterstützen. Wo aber ein Wüstenstrom im trockenen Delta versiegt oder in einen Binnensee mündet, da hilft die üppige Schilfvegetation in bedeutungsvoller Weise mit, um die Mächtigkeit der Sedimente zu erhöhen. Das schilfbewachsene Delta des Amudarja im Aralsee fängt die riesige Masse der schlammigen Flusstrübe vollkommen auf und bildet in jedem Jahr einen Zuwachs des Landes um 45 Milliarden Kubikmeter.

Je mehr Pflanzen ein Klima hervorbringt, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass die daselbst gebildeten Ablagerungen Reste von Pflanzen enthalten. Kommt zu der Ueppigkeit des Pflanzenwuchses noch die Möglichkeit, dass die gebildete Cellulose langsam verwest und sich zu grösseren Humuslagern anhäuft, dann werden Kohlenlager den neugebildeten Sedimenten eingeschaltet.

Wenn man im Auge behält, dass die Wüste abflusslos ist, und dass sogar tropische Urwälder durch ihr Flusssystem einer Wüste angegliedert sein können, dass die Pflanzenwelt des Sudan ihre verwesten Reste durch den Nil in eine Wüste tragen lässt, dass der Humus nordrussischer Tundren durch die Wolga nach der caspischen Depression gelangt, so wird man verstehen, dass selbst in der pflanzenleeren Wüste unter lokalen Umständen grosse Mengen von Humus abgelagert und kohlige Schichten gebildet werden können. Ungeheuere Schilfdickichte am Ufer des Amudarja und an dessen Delta im Aralsee bilden grosse Mengen von Pflanzenmoder, der sich lithogenetisch durch den Mangel an fossilen Stämmen besonders auszeichnen dürfte.

Unangenehm riechender kohlschwarzer Schlamm entsteht am Grund des Salzsees von Mollahkari und wird von vielen anderen Salzseen beschrieben.

Die bituminösen Thonschichten im Liegenden fossiler Salz- und Gypslager deuten auf eine ähnliche Entstehung hin. Wenn im Polarland die niedrige Temperatur die Vermoderung der Cellulose verlangsamt und grosse Mengen amorphen Kohlenstoffes ansammelt, so ist es die antiseptische Wirkung von starken Salzlösungen, die in solchen Wüstenseen selbst geringe Spuren von Vegetation aufbewahrt und aufspeichert.

Die Flora der Wüstenquellen ist ziemlich reich. Schweinfurth beobachtet in den ägyptischen Wüsten zwölf Arten von Diatomeen, Conferva, Chara foetida, Nitella, Ruppia, Zanichellia, Potamogeton. Chara bildet oft so dicht verfilzte Rasen, dass man sie mühsam auseinanderreissen muss, ehe man Wasser schöpfen kann. Um die Quelle findet man Dickichte von Typha und Juncus. Typha latifolia bildet Dickichte an den ägyptischen Natronseen.

Sehr bemerkenswert ist das Auftreten von kalkabscheidenden Algen im Binnensee von Utah, das von Gilbert[1]) zuerst beschrieben, später von Rothpletz[2]) studiert worden ist. Da der grosse Salzsee kein mariner Relikt ist, sondern eine Wüstenbildung, so erklärt die von Rothpletz beschriebene Algenflora, wie mitten in der Wüste oolithähnliche phytogene Kalke entstehen können.

Demgegenüber zeigt die Verbreitung von Zostera nana im Caspi, dass eine Einwanderung mariner Pflanzen stattgefunden habe.

Die Ueberreste von zarteren Landpflanzen können nur unter ganz besonders günstigen Umständen erhalten werden. Die Regenflora des Frühlings wird durch austrocknende Winde verdorrt, und Walter beobachtete in Transcaspien, dass dies bisweilen im vollen Safte geschieht. Dürre, zusammengerollte Blätter können dabei in den lockeren Dünensand geraten und werden dann in gekrümmten Nervaturpräparaten erhalten. Im Schlamm der Seen und Flussalluvionen können auch horizontale Blätter dem geschichteten Sediment eingeschaltet werden und ganze Blätterschichten bilden. Aber die Mehrzahl der grobklastischen Ablagerungen wird nur kümmerliche Spuren von Pflanzen enthalten. Kilometerlange Profile sind längs der transcaspischen Bahn in den Kieslagern der Wüste aufgeschlossen, und viele Cisternen zwischen Djebel und dem Fuss des Grossen Balchân bieten lehrreiche Aufschlüsse. Nirgends sah ich Spuren von Holz oder Wurzelwerk zwischen den durch verheerende Wolkenbrüche gebildeten Konglomeraten der Wüste.

Der Grund dafür ist leicht einzusehen: Ein Wüstenregen überschwemmt mit seinen reissenden Fluten das Uadi oder die steinige Wüstenebene. Tausende von dürren Büschen reisst er aus dem Boden und verschleppt sie viele Kilometer weit. Aber das spröde splitterige Holz der dürren Sträucher und Holzgewächse, die sperrigen Aeste und kümmerlichen Blätter werden dabei zu Atomen zerrieben und können nur ausnahmsweise in dem Konglomerat erhalten bleiben.

[1]) Lake Bonneville S. 169.

[2]) Botanisches Centralblatt 1892, No. 35.

In den wandernden Dünen kann noch weniger Holz oder Astwerk konserviert werden, nur die langen Wurzeln, die sich oft mit einer aus Sand zusammengekitteten Röhre umgeben, können später im verfestigten Sand erhalten bleiben und sind wohl bisweilen als Fulguriten beschrieben worden.

Dass im Löss und im Takyrboden ebenfalls nur Wurzelröhrchen, aber keine Ueberreste der oberirdischen Organe von Wüstenpflanzen zu sehen sind, hat seinen Grund in deren Vergänglichkeit.

Alle diese Thatsachen müssen in uns die Vorstellung befestigen, dass die innerhalb eines abflusslosen Gebietes gebildeten Ablagerungen in der Regel frei von Pflanzenresten sind. Wir werden vereinzelte Stückchen versteinerten Holzes, Wurzelröhren und die Spuren windbewegter Pflanzenteile gelegentlich finden, vereinzelte Schichten können sogar eine reichere Flora enthalten oder bituminös verfärbt sein, im Liegenden von Salz und Gypslagern werden wir verwesende organische Substanzen etwas reichlicher finden, aber im ganzen werden die leuchtenden Farben der Gesteine darauf hinweisen, dass reduzierende Humusteilchen ebenso fehlen, wie wohlerhaltene Ueberreste der Pflanzenwelt.

8. Die Fauna der Wüste.

Die Wüstenfauna setzt sich aus endemischen Formen und wandernden Durchzüglern zusammen. Wenn auch die Seltenheit von Wasser und die Armut der Vegetation vielen Tieren den dauernden Aufenthalt in der Wüste unmöglich machen, so zeigen andere doch eine so wunderbare Anpassung an das trockene Klima, dass sie selbst die glühende Sommerzeit ohne Schaden überdauern. Ein dichter Haarpelz, meist von gelber Farbe, schützt die Säugetiere gegen die trockene Luft und macht sie in ihrer Färbung dem gelben oder graubraunen Boden so ähnlich, dass nur das geübte Auge sie erkennen kann. Wenn auch der Löwe nicht in der Sahara vorkommt, sondern die Randgebirge Nordafrikas und die Steppenländer Südafrikas bewohnt, so bietet doch die gelbe Farbe der Gazelle, der hüpfenden Nagetiere, der Schakale und Fennekfüchse treffliche Beispiele für Schutzfärbung. Die Eidechsen und Schlangen fliehen entweder rasch beim Nahen des Menschen und haben dann ein lebhaft gefärbtes und scharf gezeichnetes Schuppenkleid, oder sie legen sich, wie z. B. Phrynosoma, mit ihrem gelbgrauen Körper so dicht auf den Boden, dass man sie im bewegungslosen Zustand nicht sieht, selbst wenn man genau weiss, wo sie liegen. Manche Eidechsen und Schlangen graben sich durch fibrierende Bewegungen ihres Körpers blitzschnell in den Sandboden und verschwinden wie durch Zauberkraft dem Blick; andere Wüstentiere leben überhaupt am Tage in selbstgegrabenen Gängen und Höhlen. Vielfach ist der Boden völlig unterminiert, und leicht bricht der Fuss in die lockeren Gänge hinein. Nachts kommt dann diese unterirdisch lebende Fauna heraus, und wenn abends ein kräftiger Wind ringsum den Sand geglättet hat, so finden wir ihn am Morgen bedeckt mit zahllosen Fusseindrücken und Fährten.

Man sollte meinen, dass die austrocknende Wirkung der Wüstenluft jedes sterbende Tier mumifizieren müsste, so dass man überall die eingetrockneten Leichen der Käfer, Eidechsen, Schlangen, Nage- und Raubtiere bemerkte. Aber nirgends bleibt ein Kadaver liegen, weil eine Schar aasfressender Insekten und Säugetiere von weither durch die trockene Luft die verwesende Beute wittern und sie rasch bis auf die letzte Spur verzehren.

Wohl jeder Wüstenreisende hat die Erfahrung gemacht, wie schwer es ist, Schuhwerk, Lederzeug und Vorräte nachts vor den frechen Diebstählen der Schakale zu schützen. Alle Ueberreste des Lagers werden schon in der folgenden Nacht von ihnen verschleppt und vertilgt. In genau derselben Weise verfällt ihnen jede Leiche eines kleineren oder grösseren Tieres, und was sie unbenagt und unzerbissen zurücklassen, das zerstören nach kurzer Zeit Sonne und Wind. Gewisse Umstände müssen zusammenkommen, um Tierleichen in die Sedimente der Wüste so einzubetten, dass sie fossil erhalten werden. Schon Darwin hat darauf hingewiesen, dass in den südamerikanischen Steppen zwar keineswegs grosse Ueberschwemmungen, aber dafür grosse Dürren ein massenhaftes Sterben der Steppentiere veranlassen. Wenn weithin alle Tränken vertrocknen, die Quellen versiegen, die Flüsse sich in eine Kette morastiger Sümpfe verwandeln, dann sammeln sich die verschmachtenden Tiere an den letzten vorhandenen Wasserstellen. Aber weite Binnenseen sind jetzt von einem salzgetränkten schlammigen Ufergebiet umgeben, und das Wasser ist eine konzentrierte Salzlösung geworden. Alle Steppentiere, die mit lechzender Zunge und ermatteten Gliedern den fernen See erreichen, versinken entweder im Schlamm des Ufers oder verenden nach dem Genuss des salzigen Wassers

Bei meinen Wanderungen durch die Sanddünen der Karakum fand ich am Fusse einer hohen steilen Düne ein Volk von elf Steppenhühnern, die hier Schutz vor den heissen Strahlen der Sonne suchten. Es wäre wohl denkbar, dass eine Gesellschaft weniger beweglicher Tiere gelegentlich von einer niederbrechenden Sandlawine verschüttet und in den Flugsand eingebettet werden könnte. Wenn man die wunderbare Aetosaurus-Gruppe im Stuttgarter Museum betrachtet, dann erscheint es wohl möglich, dass die kleinen Panzerechsen auf diese Weise in den Stubensandstein gerieten, vergebliche Anstrengungen machten, um sich aus dem Sande zu retten, und so wunderbar konserviert wurden. So prägt sich die Armut der Wüstenfauna deutlich in dem Fossilmangel der Wüstensedimente aus, und nur unter ganz besonders günstigen Umständen enthalten dieselben wohlerhaltene Skelette oder Skelettabdrücke.

Umso häufiger sieht man in der Wüste die Fährten von allerlei Getier, und fast jede Düne zeigt am Morgen die mannigfaltigen Spuren nächtlich umherschweifender Tiere. Freilich verwischt und glättet der Wind rasch die Fusseindrücke, und auf einer heissen Wanderung durch die Dünen bei Perewal in Transcaspien wurde es mir schwer, den Rückweg zu finden, weil der mit etwa 5 m in der Sekunde wehende Wind selbst meine eigenen Fusstapfen schon nach zwei Stunden verwischt hatte. Es müssen auch hier wiederum besondere Umstände zusammenkommen, um Fährten im Sande zu konservieren.

Nach jedem Regen werden von der Düne lehmige Bestandteile und feinster Sand in die zwischen den Dünen befindlichen Senken herabgeschwemmt. Das Wasser vertrocknet und lässt zuerst eine feuchte dünne Thonfläche, später eine harte, von Trockenrissen zerschnittene Thonlage zurück. Die dürstenden

Wüstentiere eilen zu der rasch vergehenden Wasserpfütze und drücken ihre Spur dem Thone ein. Wandert dann, wie solches in der Karakum geschieht, der Sand in jedem Jahr um 6 m vorwärts, so überschreitet er die thonige Zwischenschicht und der feine Formsand bildet einen wundervollen Abdruck der Fährte. Da später das liegende Thonmodell leicht erweicht wird und zerbröckeln kann, während das hangende Formsandnegativ zum unzerstörbaren Relief verhärtet, so entstehen fossile Fährten von tadellosem Umriss leichter im negativen, als im positiven Abdruck. Kamelspuren[1]) von 1887 waren 1892 noch deutlich erkennbar. Wenn ein heftiger Regen weithin die Wüste übergossen hat, dann können Tiere, die, dem Wassermangel weniger angepasst, am Rande der Wüste leben, ihre Jagdzüge weit in das Wüstenland ausdehnen, und überall ist durch den Wasserschlamm zugleich die Möglichkeit geboten für die Erhaltung ihrer Fährten. Ein bekanntes Beispiel glaube ich damit erklären zu können. Im oberen Buntsandstein kommen die Fährten von Chirotherium in einer so weiten horizontalen und so geringen vertikalen Verbreitung vor, dass man einen bestimmten Chirotheriumhorizont hat ausscheiden können. Das Fehlen der Fährten in liegenden und hangenden Schichten beweist entweder, dass Chirotherium nur während des kurzen Zeitraumes gelebt hat, oder, was ich für wahrscheinlicher halte, dass es nur einmal durch das Sandgebiet Mitteldeutschlands hindurchgewandert ist. Da nun schon Voigt darauf hingewiesen hat, dass der opponierbare Zeh der handförmigen Extremität nicht einem Sohlengänger, sondern einem greifenden Klettertier angehört haben muss, so wird die Annahme höchst wahrscheinlich, dass dieselben Ursachen, die der Chirotheriumheerde damals erlaubten, das wasserleere Dünengebiet des Buntsandsteinlandes zu betreten, auch die Erhaltung der Fährten begünstigten. Mit voller Klarheit sagt Voigt: [2]) »Es ist wahrscheinlich, dass die Fährten im Buntsandstein zuerst durch trockenen Flugsand überdeckt und nicht durch sandhaltige Gewässer überschwemmt wurden. Denn letztere hätten wohl schnell die Schärfe der Ränder verwaschen und die Abdrücke undeutlich gemacht.«

Was bei einem vorübergehenden Regenguss einmal geschieht, dass wiederholt sich jedes Jahr, wenn in ein Wüstenland die Schmelzwasser winterlichen Schnees von den nahen Gebirgen strömen oder regelmässige Winterregen die Halbwüste tränken.

Bekanntlich verbringen die meisten Vögel der gemässigten Zone den Winter in südlicheren Breiten, und viele überschreiten hierbei nicht allein Meere, sondern auch den wasserlosen Wüstengürtel, um nahe dem Wendekreise ein sonniges wasserreiches Klima zu finden. Transcaspien, das im Sommer und Herbst nur eine kümmerliche Wüstenfauna beherbergt, wimmelt im Frühjahr von Durchzüglern in unzähligen Scharen. Nur wenige von ihnen brüten dort,

---

[1]) Foureau. Ref. Peterm. Geogr. Mitt. 1897, S. 175.

[2]) Neues Jahrbuch f. Min. 1836, S. 166.

die meisten werden nur auf dem Durchzug beobachtet. Nachdem sie von Persien aus längs der Flüsse nach Norden weit in das Wüstengebiet gelangt sind, rasten sie in dem Trockendelta der Verdunstungsoasen, um dann das 150 km breite Sandmeer zu kreuzen, das sie vom Amudarja trennt. Vom Aralsee müssen sie wiederum durch die Wüste fliegen, um endlich in Russland zu landen. A. Walter[1]) hat 1886 über 250 Vogelarten auf dem nordwärts gerichteten Frühlingszug, manche auch auf dem Herbstzug beobachtet. »Die Bachstelzen zählten an den Bächen von Artyk vom 8. bis 10. April 1886 nach hunderten. Vom 19. April spotteten ihre Scharen am Murgab jeder Zahlenschätzung und erfüllten buchstäblich zu Zeiten in endlosen Wolken das ganze Flussbett. Am 8. April hatte der Zug von Muscicapa parva den Höhepunkt erreicht, denn die Zahl der Vögelchen dieser Art ist nunmehr schwer zu schätzen. Auf jedem Baum und Strauch sieht man sie verteilt, es wimmelt buchstäblich alles von ihnen.« So ziehen Vögel, Antilopen und andere Herdentiere durch die Wüste, allerlei Raubzeug folgt ihrem Pfad, zahllose Insekten beleben die Flora, und der feuchte Boden bedeckt sich mit den Fussspuren einheimischer und fremder Faunenelemente.

Kein Wunder, dass im Spätsommer, wenn kein Vogellaut in der öden Wüste ertönt, dennoch weithin der Boden mit unzähligen Fussspuren bedeckt ist, die sich in dem feinen Schlamme des erhärteten Takyrs so wunderbar konservierten, als ob sie gestern erst entstanden wären. Wandert jetzt das Sandmeer der Karakum transgredierend über die Thonfläche, dann ist eine thonige Zwischenschicht gebildet, die auf meilenweite Entfernung als leitender Horizont durch bestimmte Fährteneindrücke wieder erkannt werden kann. Die bekannten Fährten im triasischen Connecticutsandstein mögen auf diese Weise entstanden sein.

Manche Insekten haben eine überaus grosse Lebensfähigkeit und können daher selbst im trockenen Wüstenland weitverbreitet sein. Grosse Käfer wandern durch die heissen Sanddünen, Wanderheuschrecken ziehen in Scharen durch die trockenen Steppen. Südlich von Belkaschifari fand Rohlfs[2]) ungeheure Mengen von Myriapoden, »die, zu zwei oder drei in mauselochartigen Löchern wohnend, die ganze Erde wie Raupen bedeckten. Auch am folgenden Tage waren sie so zahlreich, dass die Kamele bei jedem Schritt solche Tiere zertraten«. Auch Skorpione kommen nachts an das Lager.

Ameisen sind in manchen Wüstenländern sehr zahlreich und fressen in Oberägypten ihre Gänge durch 2500 Jahre altes Holz.

Sehr merkwürdig ist die Verbreitung der Landschnecken in den ägyptischen Wüsten. Nach Schweinfurth kommen sie südlich von Beni Suef nicht mehr vor, aber in Nordägypten leben sie von 200 bis 400 m hoch an den Abhängen der Wüstengebirge. Während der heissen Jahreszeit ist die verbreitete Helix deser-

---

[1]) Die Vögel Transcaspiens.

[2]) Rohlfs. Peterm. Geogr. Mitt. Bd. XXV, S. 47.

torum im Boden vergraben, im Winter kommt sie hervor und ist mit ihrer weissen und braunen Schale zwischen den ebenso gefärbten Wüstenkieseln oft kaum zu sehen. Kein Vogel frisst sie, nur Uromastix sucht sie auf. Auffallend sind die Ansammlungen toter Schneckenschalen, die unter überhängenden Felsen an den Gehängen gelegentlich zu tausenden zusammenliegen, obwohl sie unmöglich durch Wasser zusammengeschwemmt sein können.

Durch sehr verschiedenartige geologische Vorgänge entstehen, wie wir früher gezeigt haben, Wasseransammlungen in der Wüste. Nebenmeere und Meeresbuchten schnüren sich vom Ozean ab und werden abflusslos, wohldränierte Landschaften werden durch Verlagerung einer Wasserscheide einem Wüstengebiet angegliedert, grosse Ströme bringen ihre Wasserfluten aus regenreichen Gebirgen in eine Depression und bilden hier einen verdunstenden, abflusslosen See. Mit dem Wasser wandert die Wasserfauna. Bald finden wir die Relikten mariner Tiere, bald sind durch passive Wanderungen unbelebte Wüstenseen besiedelt worden. In ausgezeichneter Weise hat H. Credner diese Probleme behandelt und gezeigt, dass die Reliktenfaunen nur in seltenen Fällen als marine Ueberreste einstiger Meeresexklaven zu deuten sind. Die passiven Wanderungen der Tiere spielen eine viel zu grosse Rolle, als dass nicht jeder, selbst der abgelegenste Wüstensee besiedelt werden könnte, ebenso wie die küstenfernste Insel mit Landpflanzen und Landtieren besiedelt wird.

Die Fauna der Wüstenquellen ist oft so reich, dass man das Trinkwasser sorgfältig filtrieren muss, um nicht gefährliche Parasiten in sich aufzunehmen. O. Fraas beschreibt aus der Mosesquelle bei Suez: Melania fasciolata, Wasserkäfer, hunderttausende von Cypris delecta und viele Diatomeen. In anderen Quellen der Sinaihalbinsel wimmelt es zwischen dem dichten Chararasen von Krebschen, Blutegeln, Wasserkäfern und Insektenlarven.

In den Quellen der algerischen Sahara hat Rolland[1]) folgende Mollusken beobachtet:

im Gebiet von Zab (34 Quellen)			
Bithynia tentaculata	in	8	Quellen
Hydrobia Peraudieri	„	5	„
Melania tuberculata	„	24	„
Melanopsis maroccana	„	31	„
im Gebiet des Uadi Rir (39 Quellen)			
Hydrobia Brondelli	in	8	Quellen
Paludestrina Jusi	„	7	„
„ arenaria	„	4	„
Paludestrina Peraudieri	in	4	Quellen
„ subacerosa	„	6	„
Amnicola pycnocheilia	„	34	„
„ Jusi	„	16	„
„ Miloni	„	8	„
„ saharica	„	9	„
„ Cossoni	„	9	„
Melania tuberculata	„	37	„
Melanopsis maroccana	„	20	„

In demselben Gebiet fanden sich von Fischen:

Chromis Desfontaini	in	5	Quellen
„ Zillii	„	12	„
Hemichromis Saharae	„	9	„
„ Rollandi	„	5	„
Cyprinodon calaritanus	„	38	„

[1]) Hydrologie du Sahara algérienne. S. 272.

Von Krabben kommt Telphusa fluviatilis in 21 von den 34 Quellen zu Zab vor. Rana esculenta var. Latastei findet sich bei Quargla, häufig sind Hirudo mysomelas und sehr zahlreiche Wasserinsekten. Von planktonischen Krebsen sind 7 Cladoceren, 11 Copepoden und 7 Ostrakoden aus der Sahara beschrieben.

Eine eigentümliche Anpassung an die Wüste ist jedenfalls die unterirdische Wasserfauna Algeriens. Die in den Quellen lebenden Chromis, Hemichromis, Cyprinodon und Telphusa steigen hinab in die unterirdischen wassererfüllten Spaltensysteme und werden beim Anbohren derselben durch artesische Brunnen zu Tage gefördert. Rolland macht es wahrscheinlich, dass sie normaler Weise in den oberirdischen Quellen leben und nur vorübergehend, zufällig in die Tiefen der Erde geraten. Immerhin könnten auf diesem Wege Fossilien in gangförmig gebildete Quellabsätze geraten.

Die Fauna der Wüstenflüsse ist generisch von der Tierwelt der Quellen und Seen so wenig verschieden, dass eine systematische Betrachtung derselben nichts Neues bieten dürfte. Wohl aber muss hier auf die wechselnde Länge der Wüstenflüsse eingegangen werden, weil dieselbe höchst merkwürdige tiergeographische und biologische Folgen hat. Australien ist das klassische Land der vertrocknenden Flüsse, weil hier im Wechsel der Jahreszeiten ein Vorgang sich regelmässig wiederholt, der in den echten Wüsten nur in langen Zwischenräumen auftritt. Die australischen Flüsse haben einen überaus verschiedenen Wasserstand. »Nach[1]) heftigen Regengüssen schwellen sie so hoch an, dass ihr Niveau gegen 30 m höher steigen kann. In der trockenen Jahreszeit versiegen ihre Zuflüsse und der grosse Strom erreicht nicht mehr die Küste. Er bildet jetzt eine Kette von langgestreckten Seen, die sich immer mehr verkleinern und endlich in eine Reihe von morastigen Tümpeln zerlegt werden. Die im Fluss lebenden Tiere, Schnecken, Muscheln, Fische und Schildkröten, sind gezwungen, sich in diesen Tümpeln zu sammeln, das Wasser fault, und endlich müssen die armen Tiere elend zu Grunde gehen, wenn sie nicht auf andere Weise Sauerstoff aufnehmen können.« Das thut der Ceratodus, indem er neben seinen Kiemen noch Lungen bildet, die ihn in den Stand setzen, Luft zu schnappen und dadurch die Trockenzeit gut zu überstehen.

Ceratodus Forsteri ist der letzte Nachkomme eines sehr alten Geschlechtes, das in der Trias viel verbreitet war und allem Anschein nach hier unter ganz ähnlichen klimatischen Verhältnissen lebte. Im mittleren Keuper von Württemberg sind sieben Arten von Ceratodus beschrieben, und eine Art ist schon aus dem Buntsandstein bekannt. Selbst wenn es keine lithologischen Beweise dafür gäbe, dass die Buntsandsteinzeit ebenso wie die Keuperperiode ein Wüstenklima in Mitteleuropa erkennen lassen, so würde unseres Erachtens die Verbreitung des Ceratodus nach den sonst giltigen Grundsätzen beweisen, dass in jenen Zeiten ein trockenes Klima mit rasch wechselnden Niederschlägen, mit Dürren und Ueberschwemmungen in Deutschland gewaltet hat.

[1]) R. Semon. Im australischen Busch. S. 223.

Aber man kann die doppelatmenden Fische in noch ältere Perioden der Erdgeschichte zurückverfolgen, und zwar in die Oldred-Ablagerungen des Devon, die schon von J. Fleming und A. Geickie für Sedimente grosser Binnenseen gehalten und von Ramsay mit dem Caspi verglichen worden sind. Auch in diesem Fall treffen lithogenetische und bionomische Gründe in demselben Schluss zusammen, dass eine abflusslose Wüstenregion Nordeuropa umfasst haben muss. Da nun die ältesten echten landbewohnenden Amphibien erst in der folgenden Karbonperiode gefunden werden, glaube ich diese beiden Thatsachen zu folgender Betrachtung verknüpfen zu dürfen:

Eines der grössten Probleme der Paläontologie und Zoologie ist die Entstehung der Luftatmung in der Reihe der Wirbeltiere. Denn mit diesem Fortschritt begann jene wunderbare Differenzierung der landbewohnenden Wirbeltiere, die in der Entstehung des Menschengeschlechtes gipfelt. Der geologische Zeitpunkt dieser Entwickelung fällt in die obere Abteilung der paläozoischen Aera, denn die ältesten Stegocephalen findet man im oberen Karbon von Böhmen, Irland, Schottland, Nordamerika. Die lebenden Amphibien bewohnen ausschliesslich das Süsswasser und vermeiden ängstlich die salzigen Fluten des Meeres; aber auch die fossilen Formen des Amphibienstammes sind durchaus Süsswasserorganismen, die in den Sümpfen der Steinkohlenwälder, in den Seen der Rotliegendenzeit sich wohl fühlten, und deren Ueberreste nur selten zwischen marinen Fossilien gefunden werden, so dass auch hier nur sekundäre Umstände diese Funde erklären. Während die jüngeren Reptilien vielfach ins Meer gewandert sind und mit Nothosaurus, Ichthyosaurus, Plesiosaurus die marine Tierwelt belebten, sind die fossilen Amphibien ebenso wie die mit ihnen auftretenden ältesten Reptilien (Palaeohatteria, Theromorphen) Bewohner des Festlandes und festländischer Wasserbecken gewesen. Wir ziehen daraus den Schluss, dass die Entstehung der ältesten Lungenatmer, der ältesten Vierfüssler aus Fischen nicht am Ufer des Meeres geschehen sei, sondern dass Süsswasserfische durch natürliche Umstände gezwungen wurden, auf die Wasseratmung zu verzichten. Diese Bedingungen mussten regional verbreitet sein und mussten oft wiederholt auftreten, um durch langandauernde Selektion aus einem wasseratmenden Fisch ein luftatmendes Landtier zu bilden, und diese Umstände mussten mit zwingender Gewalt das Leben der wasseratmenden Fische bedrohen, denn sonst wäre der grosse Schritt der Entwickelung zur Lungenatmung niemals gethan worden.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt die physikalischen Verhältnisse eines mit dem Meere dauernd verbundenen Flusssystemes, grosser Flussseen und ausgedehnter Sumpfländer, so finden wir hier nirgends die geforderten klimatischen Zwangsmittel. Im Laufe des grössten Flusses können weder Stromschnellen noch See-Erweiterungen irgend eine dauernde Schranke für die Wanderungen der Fischfauna bilden, und demgemäss kann im Laufe eines

zum Meere abfliessenden Gewässers nirgends ein Wassertier genötigt werden, sein Lebenselement mit der Luft zu vertauschen.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn ein Fluss unter den Einfluss des Wüstenklimas gerät und, wie in Australien, in wiederholtem Wechsel austrocknet und gefüllt wird; wenn bald riesengrosse Seen entstehen, bald durch furchtbare Dürren die ganze Wasserfläche bis auf wenige salzige Pfützen zusammenschrumpft. Dann ist nicht nur die geringe Menge des Wassers, sondern auch sein Salzgehalt für alle darin lebenden Fische verderblich, und wenn die Fischfauna eines periodischen Wüstenflusses im Laufe oft wiederholter Trockenzeiten dazu geführt wurde, doppelatmende Fische zu bilden, wie dies in der grossen Wüstenregion des Oldred erfolgt sein muss, dann konnte leicht ein Zweig dieser damals soweit verbreiteten Dipnoi durch eine noch gewaltsamere Trockenzeit zum Landleben gezwungen werden, und damit entstand das erste landbewohnende Wirbeltier. So erscheint uns das erste Auftreten der Vierfüssler als eine Folge einer grossen geologischen Katastrophe. Aber die lebenvernichtende Dürre brachte neues Leben hervor, und der überlebende Zweig des Wirbeltierstammes war von so grosser Lebenszähigkeit, dass er die Schrecken des Wüstenklimas nicht nur überwand, sondern durch die Not auf einen Weg gedrängt wurde, der ihn zu den höchsten Sprossen der organischen Stufenleiter führte.

Die Fauna der Binnenseen in den abflusslosen Gebieten lässt sich nicht besprechen, ohne das Problem der »Reliktenfaunen« zu berühren. Als im Jahre 1860 Lovén in schwedischen Seen Mysis und andere marine Krebse entdeckte, erschien ihm diese Thatsache zoologisch so befremdend, dass er nach geologischen Gründen suchte für das binnenländische Auftreten mariner Tiere. Als ähnliche Thatsachen von vielen andern binnenländischen Seen bekannt wurden, als man sogar in dem 3900 m hoch gelegenen Titicacasee Allorchestes dentatus fand, erlitt die Reliktentheorie Lovéns einen starken Stoss, und die mustergültige Abhandlung R. Credners hat gezeigt, dass viel leichter marine Tierformen in einen festländischen See hineinwandern können, als dass eine Meeresbucht durch geologische Hebung sich horizontal und vertikal so weit vom Meere entfernen könnte. Das geologische Problem der Reliktenseen wird zu einem Problem der tiergeographischen Wanderungen, und die weite Verbreitung von Reliktenformen beweist nur das eine, dass die marine Fauna ebenso mannigfaltige Mittel besitzt, um einen küstenfernen See zu besiedeln, wie die Landfauna küstenferne Inseln erreicht.

Charakteristisch ist es, dass die Reliktenfauna sich vorwiegend aus dem schwebenden Plankton und dem schwimmenden Nekton des Meeres zusammensetzt, während die bodenbewohnenden Benthos-Tiere weniger leicht wandern.

Im Gegensatz zu dem grossen Artenreichtum des Ozeans setzt sich die Fauna selbst der grössten Binnenseen aus nur wenigen Arten zusammen. Diese treten aber in so ungeheurer Individuenzahl auf, dass sie oft das ganze Wasser

erfüllen. Wir müssen zuerst der kleinen Krebschen gedenken, deren Eier durch den Wind oder durch Zugvögel leicht verfrachtet werden können, und die daher in jedem, selbst dem vergänglichsten Trockensee auftreten. Estheria hierosolymitana [1]) findet sich bei Jerusalem in Tümpeln, die elf Monate lang trocken liegen. Daphnia aegyptiaca belebt die stehenden Gewässer bei Alexandria und im Fayum zusammen mit Cypris declivis. Ungemein häufig ist Artemia salina in allen, selbst stark salzigen Wüstenseen; oft ist das abgeschiedene Salz rötlich gefärbt von den darin eingeschlossenen Krebsschalen.

Dass Estheria auch in der geologischen Vergangenheit in den abflusslosen Binnenseen gelebt hat, ist höchst wahrscheinlich, und es wäre zu untersuchen, ob nicht auch manche Linguliden und sogar Trilobiten wie Phillipsia zu den fossilen »Relikten« zu rechnen wären.

Ueberaus reich sind die Binnenseen an Fischen. Wie der Fayumsee ganz Egypten mit Fischen versorgt, so ist der Caspi mit seinen Flüssen das grosse Fischbassin Russlands. Bei Astrachan ebenso wie an der Atreckmündung ist der Fischfang ungemein ergiebig. Walter schreibt: »Die Zahl von Cyprinus carpio an der Barre des Atreck spottet jeder Schätzung und Schilderung. Sie erreichen eine Länge von 3 Fuss, und 20 Pfund schwere Exemplare überwiegen. Wohin man das Auge richtet, überall sieht man die von den schwimmenden Fischen gezogenen Streiflinien im Wasser. Beständig erhielten die Boote heftige Stösse von den auflaufenden Karpfen, und das eine wurde fast von einem mit dem Kopf unterfahrenden Karpfen umgeworfen. Ein wirklicher Kampf musste mit den Fischen geführt werden, um sie mit den Ruderstangen abzuwehren. Zwischen den Massen von Karpfen sieht man ab und zu in langsamen Bewegungen einen Wels, Silurus glanis.«

Durch die umgekehrte Strömung des Sees in die Lagunen der Haffe hinein geraten zahllose Fische in die Salzpfannen und müssen dort sterben. Andrussow [2]) beschreibt dies vom Karabugas: »die Kadaver schwimmen so lange weiter, wie das in den Busen hineinfliessende Wasser sie fortbewegt, dann sinken sie zu Boden oder werden ans Ufer getrieben. Die am Ufer angehäuften Leichen von Clupea, Atherina, Cyprinus, Lucio perca, Accipenser, Syngnathus werden teilweise von den dort lebenden Vögeln gefressen, und welche Massen von Fischen im März hier am Ufer liegen, kann man daraus ermessen, dass die Möven um diese Zeit nur Fischaugen fressen, und sich nicht die Mühe geben, den Fisch umzukehren, um auch das andere Auge auszustechen«. An manchen Stellen bleiben eine Menge Fische liegen, die sich im Sommer, durch die brennende Sonne getrocknet, vorzüglich konservieren. Da der Karabugas in der Regel als Beweis für die »marine« Entstehung von Salzlagern herangezogen wird, möchte ich auf den kolossalen

---

[1]) Fischer, Abh. der Münchener Acad. d. Wissenschaften. 1860. S. 645.

[2]) Peterm. Geogr. Mitteil. 1897, S. 29.

Reichtum dieses Wüstenhaffs an nektonischen Fischen aufmerksam machen. Die Entstehung fischreicher Ablagerungen kann wohl auf ähnliche Vorgänge zurückgeführt werden, nimmermehr aber die Entstehung eines permischen Salz- oder Gypslagers, in dem alle marinen Fischreste fehlen.

Auch Wassersäugetiere findet man vielfach in abflusslosen Gebieten. Phoca ist in dem Caspi ebenso heimisch, wie im Aral- und Baicalsee. Manatus und Dephinus steigen bisweilen so weit in die Flüsse hinauf, dass sie auf diesem Weg auch in die abflusslosen Gebiete geraten können.

Die Fischfauna [1]) der zentralasiatischen Seen lässt interessante Schlüsse zu über die Art ihrer Besiedelung: Im Schwarzen Meer leben 97 Fischarten, im Caspi 60 Arten, im aralocaspischen Seengebiet 278 Arten. Daraus geht schon hervor, dass die östlichen Seen nicht vom Pontus aus besiedelt worden sein können. Wir wissen durch Andrussow, dass das Schwarze Meer erst sekundär mit dem Mittelmeer verbunden wurde, und jetzt noch wandern Rhombus levis, Lofius piscatorius, Conger und Blennius an der felsigen Küste Kleinasiens entlang hinein. Auch Amphioxus ist schon hineingedrungen. Dagegen hält sich am Nordufer des Pontus noch heute die Fischfauna des ehemals aus Pontus und Caspi bestehenden Binnensees auf.

Die Gobiiden, die im Pontus in 30 Arten leben und im Caspi mit 20 Arten auftreten, fehlen im Aralsee, können also in die beiden erstgenannten Becken erst hineingelangt sein, nachdem der Aralsee schon isoliert war. Sie fehlen überhaupt im ganzen mittleren Asien und treten erst in China, von der Pazifischen Küste aus eingewandert, mit 21 Arten wieder auf.

So erscheint der Aralsee als eine wichtige Grenze für die Verbreitung der Fischfauna, und der Caspi wird zu einem brackischen Landsee, in dem zwar keine einzige echt marine Fischform, aber dafür umso mehr limnische und brackische Typen auftreten. Nordische Elemente, die dem Pontus fehlen, dominieren im Caspi, und Coregonus, Idothea, Phoca und Petromyzon weisen auf Einwanderung aus dem Nordmeer hin.

Je länger ein Binnensee isoliert ist, desto mannigfaltiger wird seine endemische Fauna, die zwar mit marinen Formen verwandt, aber doch von ihnen verschieden ist. Die Mollusken [2]) des abflusslosen Great Basin in Nordamerika setzen sich aus folgenden Gattungen zusammen:

Sphaerium dentatum	Limnaea	Conulus
Pisidium compressum	Physa	Vallonia
— abditum	Pompholyx	Vitrina
Helisoma	Amnicola	Succinea
Gyraulus	Pyrgula	Pupilla
Menetus	Patula	Leuchocheila.
Limnophysa	Zonites	

Während die bisher betrachteten Tiere ohne grosse Schwierigkeit wandern und aktiv oder passiv in abflusslose Gebiete geraten können, müssen wir zum

[1]) Palaczky, Verbreitung der Fische. S. 23—179.

[2]) Gilbert, Bull. U. S. Geol. Survy. II, S. 11.

Schluss noch der wirklichen »Reliktenformen« gedenken, die nur durch geologische Veränderungen in Binnenseen gelangen.

Die Erdgeschichte zeigt uns bei dem häufigen Wechsel von Meer und Festland zwei einander entgegengesetzte Prozesse: indem ein Meer transgredierend über ein Festland hinwegschreitet, werden durch Abrasion die höher gelegenen Teile des Landes in eine Schar von Inseln zerlegt. Hier halten sich vereinzelte Reste der festländischen Flora und Fauna, rings vom Meere umbrandet, so lange, bis die positive Strandverschiebung sintflutartig auch die letzten überlebenden Vertreter vernichtet. So bildet ein Inselreich die letzten Phasen eines versinkenden Landes, und mancher rätselhafte paläontologische Fund festländischer Organismen mitten zwischen einer marinen Fauna lässt sich leicht erklären.

Ganz anders verläuft der Vorgang, wenn eine negative Strandverschiebung lange andauert und früherer Meeresboden zum Festland wird. Denn die Geschicke des neuen Landes sind grundverschieden, je nachdem es unter einem regenreichen oder einem regenarmen Klima das Licht des Tages erblickt. In der äquatorialen und gemässigten Zone wird das Land rasch dräniert, ständige Wasserläufe führen alle leichtlöslichen Salze davon und süssen alle stehenden Gewässer aus. Es beginnt ein grosses Sterben aller marinen Organismen, und sprungweise treten festländische Organismen in den darüberliegenden Gesteinen auf. Nur wenige Organismen passen sich dem Süsswasser an und bleiben in den ausgesüssten Reliktenseen am Leben. Wesentlich anders verläuft dieser Vorgang in einem Wüstenklima. Hier reichen die spärlichen Niederschläge nicht aus, um die neuen Länder zu dränieren und beständige Wasserläufe nach dem Weltmeer zu unterhalten. Die neu entstandenen flachen Reliktenseen isolieren sich mit ihrer Fauna voneinander, und die marine Tierwelt lebt den neuen Umständen angepasst und spezifisch verändert behaglich darin weiter. Aber schon beginnt durch Auslaugung der umliegenden Gebiete ihr Wasser salzreicher zu werden, der höhere Salzgehalt vernichtet eine Tierform nach der anderen, und eine grosse Zahl eindampfender Salzseen erzeugen endlich Gyps- und Salzlager, in denen wir vergeblich nach marinen Resten suchen.

So bietet die Wüstenfauna, wenn wir ihre bionomischen Verhältnisse recht verstehen, geologische Belege für eine ganze Reihe wohlbekannter Thatsachen aus der Erdgeschichte, und trotz aller ungünstigen Lebensbedingungen können die in einer Wüste gebildeten Ablagerungen erfullt sein mit den Ueberresten einer zwar artenarmen aber dafür individuenreichen Fauna, die von einer Meeresfauna abstammt, ohne selbst marin zu sein.



38. Das Cañon des Colorado.

9. Die Kiesablagerungen.

Nur in dem felsigen Bett eines alpinen Giessbaches finden wir solche Riesenblöcke, und nur in den fluvioglacialen Ablagerungen des diluvialen Eisrandes solche gewaltige Kieslager, wie in den trockenen Thalschluchten der Uadis und in den schutterfüllten Wannen der Kieswüste. Und unter dem überraschenden Eindruck solcher ungeheuren Schuttmassen haben viele Reisende angenommen, dass ein der heutigen Wüste fremdes Klima diese Wirkungen hervorgerufen habe. Allein diese Ansicht ist unrichtig und entspringt einer ungenügenden Kenntnis der lithogenetischen Verhältnisse in abflusslosen Gebieten.

Nirgends auf der Welt werden durch physikalische Verwitterung solche Steinmeere geschaffen, wie in der wasserleeren Wüste. Riesige Sprünge zerteilen die härtesten Gesteine, beständige Deflation bläst sie ringsum frei, seltene Wolkenbrüche schleppen die lockeren Blöcke ein Stück vorwärts und tragen sie nach der tiefsten Stelle des temporären Regengebietes — aber keine Kraft vermag einen dieser Steine aus der Wüste hinauszuführen.

Heftiger Wind transportiert noch Sandkörner von 2 mm Durchmesser, in seltenen Fällen können erbsengrosse Steinchen vom Sturme getragen werden, aber dies ist auch ungefähr die äusserste Grenze für die Wirkung der Deflation. Das Wasser kann aus einem abflusslosen Gebiet kein Stäubchen, geschweige denn einen Kieselstein heraustragen, und so müssen notgedrungen alle gröberen klastischen Sedimente innerhalb der Wüste bleiben und dort angehäuft werden.

Am Meeresufer bilden sich Geröllager, die bei einer Strandverschiebung sogar eine grössere horizontale Ausdehnung gewinnen können. Aber nach dem Meeresgrunde, fern von der Küste, gelangen höchstens die erratischen Findlinge treibenden Eises. Deshalb beobachten wir wohl an der Basis mariner Sedimente ein dünnes Konglomeratlager oder eine schmale grobkörnige Zone am Rande eines fossilen Meeres, aber mächtige Konglomerate fehlen dem Faciesbezirk des Meeres. Im Gegensatz hierzu bilden sich in den Depressionen der abflusslosen Gebiete über und unter dem Meeresniveau Konglomerate von einer geradezu staunenswerten Ausdehnung, deren Bildung und Struktur geeignet ist, ähnliche Ablagerungen aus älteren Erdperioden genetisch zu erklären.

Je weniger es regnet und je heftiger Erwärmung und Abkühlung die Felsen der Wüste beeinflussen, desto tiefere Sprünge durchschneiden sie, und da der Wind immer wieder alle feineren Splitter und Stäubchen davonbläst, so liegen die halbgesprungenen Blöcke, die abgeblätterten Rinden, die zerspaltenen Kiesel frei und ungebunden, labil und leicht beweglich überall umher. Man muss tagelang über eine Kieswüste geritten sein, um die Bedeutung der Deflation für die Freilegung der Kiesel zu würdigen, man muss stundenlang an lockeren Schutthalden emporgeklettert sein, um die Beweglichkeit des Gehängeschuttes in der Wüste mit eigener Lebensgefahr erfahren zu haben. Nur manche, durch Steinschläge erzeugte Schutthalden im Hochgebirge geben eine Vorstellung davon, wie durch einen Fusstritt die ganze 100 m hohe Schuttmasse zu fliessen beginnt, weil kein cementierender Staub die Felsenstücke aneinander befestigt. (Siehe die Bilder 2, 6, 15, 31, 38.)

Das bekannte Phänomen der Wackelsteine, das durch Deflation im grossen erzeugt wird, trifft im kleinen auf fast jeden Stein in der stürmedurchbrausten Wüste zu. Ein kleiner Anstoss genügt oft, um grosse Gesteinsmassen in Bewegung zu setzen. Darin liegt das ganze Geheimnis, wie durch einen kurzen Strichregen eine ungeheuere Schuttmasse transportiert werden kann.

Und so wandert der durch Insolation gebildete Schutt an den Steilwänden der Wüstengebirge herab in die Thäler. Nach jedem Regen beginnt wieder die Deflation ihre lockernde Thätigkeit, bald ist das zerriebene Gesteinsmehl entfernt und wieder liegen die Felsstücke locker aufeinander. Nach fünf Jahren regnet es wieder einmal in dem Uadigebiet und der halbstündige Wassersturz leistet mehr, als wenn das ganze Jahr hindurch ein sanfter Landregen die Thäler bespülte und die Thalsohle durchrieselte.

Nur eins kann der heftigste Wolkenbruch nicht leisten: er kann keinen Stein aus der Wüste heraustragen, ja nicht einmal eine jener Wannen ausräumen, die, rings von Bergen umschlossen oder in der weiten Hochebene vom Winde ausgehoben, zum Grab für allen Schutt wird, der ringsum von den Felsen abbricht.

Wir haben die Schicksale des Schuttes geschildert von dem Augenblick, wo trockene Verwitterung die Blöcke abspaltet, durch die Trockenthäler hindurch bis zum Trockendelta und wenden uns jetzt wieder jenen schutterfüllten Ebenen zu, die wir als Trockenseen schon einmal besprochen haben.

Das, was dem Reisenden als Kieswüste oder Steinwüste entgegentritt, muss genetisch in zwei verschiedene Typen gesondert werden. Es kann eine felsige Landschaft durch Deflation so weit eingeebnet werden, dass nur eine dünne Decke härterer Gesteinselemente, die der Wind nicht davonblasen konnte, über den felsigen Grund des anstehenden Gesteins gebreitet ist. Die Sserirflächen der libyschen Wüste, soweit ich dieselben vom Nilthal aus kennen gelernt habe, gehören vorwiegend diesem Typus an. Als steinige Kieswüste erscheint auch die ähnlich gebaute Hamada, bei welcher ebenfalls nur eine dünne Schuttdecke die anstehenden Schichten verhüllt.

Aber ganz anders entstehen die Kiesebenen, die von Bergen umschlossen, besonders in den Halbwüsten Nordamerikas, in den Wüsten Turkmeniens und am erythräischen Ufer der Sinaihalbinsel auftreten; und unsere in diesen Gebieten gesammelten Erfahrungen sollen Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen sein.

Für den Reisenden ist der Weg über eine Kieswüste von ermüdender Eintönigkeit und ohne Interesse. Zwar braucht man nicht die Sandwolken des Chamsin zu fürchten, dürre Sträucher zum Lagerfeuer sind überall zu finden, und selbst die wasserführende Grundwasserschicht ist häufig der Oberfläche nahe. Aber dafür mangelt es an allem, was eine längere Reise interessant und anregend macht. Soweit das Auge reicht, bis zum Fuss des Gebirges, das in weiter Ferne auftaucht, streckt sich die ungegliederte Ebene. Dürre Sträucher, die nur nach einem Regen das Auge mit ihren Blüten erfreuen, stehen in regelmässigen Abständen auf dem steinigen Boden, der in sanften Undulationen, wie die letzten Dünungswogen eines ausklingenden Sturmes, auf und absteigt. Bisweilen kommen wir auch an einen breiten Wasserriss mit steil abstürzenden meterhohen Rändern. Mühsam klettern die Dromedare hinab, überschreiten die dürre Thalebene und ersteigen dann das andere Ufer, um wieder die eintönige Ebene zu durchmessen. Wie ein grosser breiter Schild erhebt sich hier eine pflanzenleere Kiesebene, die vielleicht auch einmal durch die Wasser eines Wolkenbruchs umspült und herausmodelliert, dann durch Deflation wieder eingeebnet und gerundet wurde.

Gebräunte oder beinahe schwarze Gerölle liegen, gross und klein durcheinander, über die Ebene gesäet; bald dicht gedrängt, bald verstreut. Aber nur ihre Oberseite zeigt die braune Schutzrinde, während die Unterseite heller gefärbt, der ursprünglichen Farbe des frischen Bruches ähnlich ist. Grössere Blöcke sind ausgehöhlt oder durch klaffende Sprünge gespalten, gewisse Gesteine zeigen deutliche Facetten oder die blatternarbige Glättung des Sandschliffs.

Die ermüdende Eintönigkeit dieser Landschaft kann nur dann unser Interesse wecken, wenn wir alle die kleinen und grösseren Uferränder der Trockenthäler und die künstlichen Aufschlüsse untersuchen, die beim Graben nach Wasser oder von erzsuchenden Bergleuten geschaffen worden sind. Verknüpfen wir die dabei gewonnenen Erfahrungen mit dem Bild, das die Verteilung der verschiedenen Kiesarten an der Wüstenoberfläche gewährt, und betrachten wir diese selbst als den Ausdruck einer künftigen Schichtenfuge, dann gewinnt die öde abstossende Kieswüste Leben, und unter den glühenden Strahlen der Sonne verfolgen wir auf dem ausgedörrten Boden die Wirkungen des flüchtigen Windes und der verheerenden Wolkenbrüche.

Die südpazifische Eisenbahn führt von El Paso einige Meilen am linken Ufer des Rio Grande del Norte entlang und tritt bei Sierra Blanca, zwischen dem gleichnamigen Granitdom und den gegenüberliegenden Quitmanbergen, in einen weiten Thalkessel hinein, der rings von hohen Bergen umgeben, selbst eine

Meereshöhe von 1200 m besitzt. Nachdem ich hier unter der liebenswürdigen Führung von Prof. von Streeruwitz mehrere Tage gearbeitet hatte, führte uns die Bahn über den Carizo-Pass in die nächste Wanne hinüber, deren Verhältnisse wir von der einsamen Station Van Horn aus untersuchten. Es waren kurz zuvor heftige Wolkenbrüche herniedergegangen, deren Spuren überall zu sehen waren, aber da mein Führer vor diesen Regengüssen schon eine vorbereitende Exkursion gemacht hatte, konnte ich seine Erfahrungen auf jedem Schritt mit dem Bilde vergleichen, das die Landschaft jetzt gewährte.

Die Randgebirge bestehen[1]) aus krystallinischen Schiefern, durchbrochen von verschiedenalterigen Graniten und überlagert von einem eisenschüssigen Konglomerat, in dem wir vergeblich nach Fossilien suchten, während geborstene Gerölle darin auffielen, dann fossilreichen Karbonkalken und der jüngeren Kreide. Die Kieswüste verbindet nun, wie ein weiter flachkonkaver Teller, wie eine am Rande gebogene Wasserfläche, die steil emporragenden Felsenketten. Tief eingeschnittene Trockenthäler mit einem breiten Trockendelta führen den Schutt aus den Felsenwänden heraus, der sich dann beinahe völlig horizontal über die Ebene ausbreitet. Am Rande des Beckens waren die frischen Aufschlüsse der Rinnsale noch häufig, an manchen Stellen in gefährlicher Nähe vom Eisenbahndamm. Dann verloren sich die Spuren des Wassers auf der Ebene, und ich konnte kilometerweit wandern, ohne nennenswerte Terrainstufen. Leider fehlten damit auch die Aufschlüsse in dem Kieslager, dessen Struktur nur aus der Verteilung von Kies, Grand und Sand an der Erdoberfläche zu erraten war. Ueber die Mächtigkeit dieses Schuttes geben die Profile Aufschluss, die v. Streeruwitz seinem Bericht beigefügt hat, und noch deutlicher spricht dafür eine bei Torbert angelegte Brunnenbohrung, die in 300 m (1050′) noch keinen anstehenden Felsen fand.

Soweit das Auge reicht, sehen wir die Landschaft mit vereinzelt stehendem Buschwerk wie gesprenkelt. Meterbreite, ginsterähnliche Gebüsche, reichblätterige Yuccastauden und stachelige Agaven bilden die Charakterpflanzen. Auch die zwischen ihnen stehenden Grasbüschel und dürren Kräuter bilden nirgends eine geschlossene Decke, sondern stehen isoliert auf dem sandigen Boden. So gewährt die Vegetation amerikanischer Kieswüsten den Anblick des Pflanzenwuchses in einem ägyptischen Uadi. Wo die Regenwasser des letzten Gewitters geströmt sind, da haben sie arge Verwüstungen in der Pflanzendecke angerichtet, und ihre Bahn auf lange Strecken von Buschwerk gesäubert.

Zahllose grosse und kleine Steine liegen zwischen den Pflanzen und nehmen an Grösse ab, indem wir uns von den Bergen entfernen. Am Fuss und am Abhang der Quitmanberge und der Sierra Blanca liegen noch mächtige Felder von Granitblöcken, die wild übereinander geschichtet, aber doch

[1]) v. Streeruwitz, Report on the Geology and Mineral Resources of Transpecos Texas; Second Annual Report. Geol. Survey of Texas 1890. S. 669—709.

ein ziemlich lockeres Haufwerk bilden. 1—3 cm dicke gebräunte Rinden hat die Insolation abgesprengt, und grosse Stücke derselben sind vom Gewitter abgerissen worden. Andere Blöcke zeigen die deutlichen Spuren chemischer Verwitterung, indem tiefe Grotten oder manchmal weite Buchten hineinwitterten. Von der Intensität der nächtlichen Abkühlung legen besonders die gespaltenen Blöcke Zeugnis ab, die 5 m im Durchmesser von mehreren glatten Sprungflächen in Stücke zerlegt sind. In kleinen Thalrinnen ist der abgewaschene Granitgrus einen Meter hoch aufgehäuft, und das verdunstende Wasser hat Kalkrinden auf und in dem Boden hinterlassen. (Vergl. die Bilder 2, 3, 17, 23, 24.)

Die Heftigkeit der Regengüsse findet ihren Ausdruck in der Verteilung grosser Felsblöcke, die vom Abhang weit hinaus auf die Ebene gerollt wurden. Sie markieren den Weg des Wassers, soweit dasselbe noch transportkräftig war, und wenn dann lange Jahre ohne einen zweiten Regenguss vergehen, so bleiben doch überall die Spuren der letzten Erosionswirkung noch erhalten. Und so sieht man weit hinaus die Spuren heftiger Wassergüsse, obwohl solche zu den seltenen Erscheinungen gehören. Nach den Berichten der Beamten an der Südpazifik-Bahn kommen vereinzelte Schauer besonders im Juli und August vor und sind dann oft auf so engen Raum beschränkt, dass sie hier 3 m breite und 30 cm tiefe Rinnsale aufreissen, während in geringer Entfernung kein Tropfen Regen fällt. Zwischen Tucson und El Paso geht die Bahn auf einem 20 m hohen Damm quer über die tiefeingeschnittene Rinne eines Trockenthales. Aber kein Wasserdurchlass ist angelegt worden in dem breiten Kiesdamm, der das Thal vollkommen durchschneidet. Man sieht daraus am besten, wie wenig man in dieser Gegend auf die Wasserläufe Rücksicht zu nehmen hat, denn es vergehen dort vielleicht Jahrzehnte, bis solche Wasser den Bahndamm gefährden.

In der langen Trockenzeit ist die Ebene und alle auf ihr liegenden Steine ein Spiel der Deflation und des Sandtreibens, und so verschwinden allmählich die Spuren der Erosion. Grosse und kleine Steine werden unterblasen und liegen nur mit einer ganz kleinen Fläche auf dem Boden auf. Grössere Granitblöcke sah ich bis in 3 m Höhe vollkommen glatt geschliffen, und zwar in einer sandarmen Felsenwüste. Man kann daraus die Intensitat des Sandwindes ermessen. Alle kleinen Kiesel sind gerundet, oft blatternarbig geschliffen, manche durch Insolation gespalten, viele oberflächlich gebraunt.

Man könnte nun glauben, dass dieselben Spuren einer regenarmen Periode auch in den Kieslagern des Bodens zu bemerken seien. Aber das ist aus folgendem Grunde nicht der Fall. Wenn ein heftiger Regen herniederstürzt und seine Wassermasse alle die oberflächlich liegenden Steine rollt und davonträgt, um sie in der Ebene aufzuschichten, dann werden in dem wildbrausenden Gewässer des Schlammstromes alle diese Deflationsformen wieder entfernt und abgerieben, so dass die Gerölle rauh und mattgeschliffen zur Anhäufung kommen, und nur vereinzelte Spuren ihrer einstigen Windbearbeitung erkennen lassen.

Und dass die braune Schutzrinde hierbei sehr leicht entfernt wird, konnte ich an vielen gebräunten Felsenflächen wiederholt feststellen.

Stehende Gewässer fehlen in dem Thalkessel von Sierra Blanca vollständig. Nördlich von Van Horn aber finden sich einige Salzseen, aus denen die vereinzelten Ansiedler weither ihr Viehsalz holen.

Die Wanne von Sierra Blanca ist 25 km lang und durchschnittlich 15 km breit; die nächste schutterfüllte Wanne bei Van Horn hat viel beträchtlichere Dimensionen, und wenn man ähnliche Gebiete von vielen Meilen Durchmesser mit der Eisenbahn in Arizona, Neu-Mexiko, Texas und Kalifornien durchschneidet und überall denselben Verhältnissen wieder begegnet, so kann man sich eine Vorstellung machen von den ausgedehnten Konglomeratlagern, die in diesen ungenügend oder nicht dränierten Gebieten in der Gegenwart und der jüngsten Vergangenheit gebildet worden sind.

Für eingehendere lithogenetische Studien eignen sich aber die transcaspischen Kieswüsten viel besser. Denn seit Jahrhunderten haben die turkmenischen Bewohner das Land mit einem kunstvollen System unterirdischer Wasserleitungen durchzogen. Ohne Kompass, nur mit seiner einfachen Setzwage, gräbt der Turkmene einen Schacht neben dem andern bis hinab zum Grundwasser, verbindet diese »Kjarisen« durch unterirdische Kanäle und sammelt so in den Depressionen aus meilenweiter Entfernung die geringe Feuchtigkeit des Bodens, um dann eine künstliche Oase damit zu bewässern.

Mit allen Hilfsmitteln moderner Technik haben russische Ingenieure ähnliche unterirdische Wasserleitungen geschaffen, eine Reihe tiefer Brunnenbohrungen geben genauen Aufschluss über die Mächtigkeit und Zusammensetzung der Kieslager, und endlich hat der Bau der transcaspischen Eisenbahn für lange Bahndämme solche Massen von Kies gebraucht, dass man überall prachtvolle, kleine und grosse Aufschlüsse untersuchen kann. Auf dem Wege von Djebel nach dem Grossen Balchân, in der Wüste bei Perewal, zwischen Askabad und dem Trümmerfeld von Anau, und auf dem Wege von Kaaka bis nach der persischen Grenze fand ich überall Gelegenheit zum Studium der Bodenstruktur, und die mir in liberalster Weise von den russischen Behörden und Ingenieuren anvertrauten Profile grösserer Bohrungen ergänzen meine eigenen Beobachtungen in glücklicher Weise.

Die Station Djebel liegt, von sandigen Hügeln umgeben, einsam in der weiten Pforte zwischen dem Grossen und dem Kleinen Balchân. Nach Süden hebt sich eine Dünenregion mit 15—20 m hohen, gelben Sandbergen heraus, die wir im nächsten Abschnitt noch besprechen werden; nach Norden erstreckt sich die ebene Kieswüste, ganz unmerklich ansteigend, 20 km bis zum Fuss der 1635 m hohen Steilwände des Balchân-Plateaus. Die Ebene ist ziemlich reich mit fusshohem, dürrem Gebüsch bewachsen, grössere oder kleinere Flächen scheinen der Vegetation ganz zu entbehren. Lässt man den Blick vom Rücken des Dromedars über die weite Kieswüste schweifen, dann sieht man zuerst die

düstere braune Farbe der verdorrten Kräuter, dann die gänzlich ungegliederte ebene Oberfläche des Bodens. Eine von mir angelegte Ausschachtung nahe der Station zeigte bis in 3 m Tiefe feinen, ungeschichteten Sand, in 1 m Tiefe war eine dünngeschichtete etwas thonreichere Zwischenlage zu bemerken, von etwa 30 cm Mächtigkeit.

Bald verwandelte sich die sandige Beschaffenheit des Wüstenbodens durch zunehmende Korngrösse in grandigen und kieshaltigen Boden, und immer zahlreicher wurden runde, flachscheibenförmige oder unregelmässig abgerollte Steine. Gröberes Geröll bildete langgestreckte, flache Felder zwischen feinerem Kies, und diese hoben sich meist durch ihre Pflanzenarmut besonders ab. Hie und da wurde der Boden wieder sandiger, oder wir ritten über eine graue Takyrfläche mit prächtigen polygonalen Trockenrissen. Aber im allgemeinen nahm die Häufigkeit und Grösse der Steine immer mehr zu, bis ich nahe dem Gebirgsfuss vor ein hohes Trockendelta gelangte, das aus einer weiten Thalspalte hervorquoll. Indem ich am Fuss der Steilwand entlangschaute, konnte ich noch mehrere, wenn auch kleinere Trockendelta erkennen.

Nach kurzer Rast an der schwefelhaltigen Quelle, die aus belemnitenreichen Felsen unter dem Schuttkegel aufquillt, ritt ich noch ein Stück in das Trockenthal hinein, aus welchem das Blockdelta hervordrang. Ueber riesige Felsblöcke und gewaltige Gesteinstrümmer drang ich in das Cañon ein, dessen vollkommen senkrechte Wände gegen 500 m emporstiegen. Einige Feigenbäume boten Schutz vor den heissen Strahlen der Sonne, und ein herrlicher Fernblick auf die weissen Salzseen, die mitten in der Kieswüste die Bucht von Krasnowodsk weiter fortsetzen, entschädigte mich für die mühevolle Exkursion. Wir sattelten unsere Dromedare und traten den Rückweg nach der Bahnlinie an. Arbeiter waren beschäftigt das Quellwasser am Gebirgsfuss zu fassen und in einer langen Wasserleitung durch die Wüste zu führen. Neben diesen frischen Aufschlüssen fand ich wiederholt Gelegenheit, auf unserem Wege 3—5 m tiefe, alte Cisternen zu untersuchen, die von den Kirghisen angelegt worden sind und zwar nur geringe Feuchtigkeit, aber dafür genügend Schatten bieten, um ihre Wände mit Musse zu studieren und abzuzeichnen.

Man wird beim Anblick derselben an den Bau einer Moräne erinnert, denn unsortiert, eckig oder gerundet, scharfkantig oder entkantet, liegen grosse und kleine Blöcke in dem sandigen Grus durcheinander. Andere Aufschlüsse zeigen aber wohlgeschichtete sandige Zwischenlagen und nirgends sind Gletscherschliffe oder Kritzen zu erkennen. Rauh und mattgeschliffen, vielfach zerstossen und mit Schlagnarben bedeckt, liegen die von den stürmischen Fluten eines Wüstenregens verschleppten Schuttmassen übereinander. Spuren des auf der Kieswüste so häufigen Gestrüpps fand ich nicht zwischen dem Konglomerat. Es scheint, dass das ausgedörrte splitterige Holz bei solchen Katastrophen entweder oben schwimmt, oder in feinste Splitter zerrieben wird.

Ueberaus lehrreich sind Aufschlüsse in kilometerlangen Kiesgruben, die zwischen Askabad und Anau und östlich von Perewal angelegt worden sind, um auf einem Schienengeleis Schotter nach der transcaspischen Bahnlinie zu befördern. Ein 3—5 m tiefer und 10—15 m breiter Graben ist dabei auf beträchtliche Entfernung ausgehoben worden und schliesst die komplizierte Struktur des Kieslagers prachtvoll auf. Wir sehen einen scharfen Gegensatz zwischen groben Kiesbänken ohne Schichtung und feingeschichteten Sanden, sowie lössartigen Thonschichten mit oder ohne Schichtenfugen. Häufig folgen diese drei Elemente in ganz regelmässiger Folge übereinander: Eine vielleicht 1 m dicke, mehr oder weniger gut geschichtete Thonbank ist nach unten durch Uebergänge und Wechsellagerung eng verbunden mit liegenden Sanden. Ihre obere Begrenzungsfläche ist sehr uneben. Tiefe Einschnitte und Furchen, Löcher und Kolke bilden eine discordante, vielgestaltige Trennungsfuge, auf welcher grobe, unsortierte Schotter aufliegen. Diese gehen im Hangenden in feinere Kiese, Grande und Sandschichten über, und endlich folgt wieder eine pelitische Ablagerung. Die genetische Erklärung dieses häufig wiederkehrenden Profils ist leicht: Eine mit Thonschlamm bedeckte Ebene (Takyr) wird von einem Wolkenbruch überflutet, dessen Sturzbäche tiefe Furchen in den weichen Boden hineinschneiden, dessen Strudel grosse Löcher auskolken, und der mit seinem groben Schutt- und Blockmaterial die zerrissene Thonebene überschüttet. Die Wasser verlaufen sich, ihre Transportkraft erlahmt, und der mitgeflösste Sand beginnt in wohlgeschichteten Sandbänken sich abzulagern. Noch stehen weite Tiefebenen unter Wasser, und langsam trocknet die Sonne das schlammige Becken aus. An der durch den Salzgehalt feucht gehaltenen Takyroberfläche klebt der vom Wind darüber gewehte feine Sand und Lösstaub jahrelang fest, und so erhöht sich die Thonebene so lange, bis nach Jahren ein neuer Gewitterregen das Profil weiter fortsetzt.

Solche, wenn ich sagen darf, »normale« Profile durch eine Schotterablagerung in der Wüste sind bei Anau prachtvoll aufgeschlossen, und wenn man die Reihenfolge der Sedimente im Auge behält, dann kann man an anderen Aufschlüssen ähnliche Bildungsumstände leicht wiedererkennen.

Ich füge die Beschreibung einzelner Aufschlüsse an:

Eisenbahnschottergrube bei Perewal; von oben nach unten:

30 cm vereinzelte kleine Gerölle in Grand.
50 cm gelber Sand, thonhaltig, ungeschichtet.
100 cm grober Kies, in welchem zwei rundliche Linsen von sandigem Thon auskeilen.
20 cm Sand mit zwei Schnüren von Geröllen.
100 cm geschichteter Sand mit seltenen erbsengrossen Steinchen; in keiner der Schichten eine Spur von Pflanzen.

Schottergruben zwischen Askabad und Anau:

40 cm gelber Löss mit Steppengras bewachsen.

40 cm Kies, in dem eine 5 cm dicke Lössschicht auskeilt, und der auf der unregelmässigen Denudationsfläche des liegenden Lösslagers liegt.

Schottergrube bei Perewal (der Aufschluss ist etwa 1 km lang):

1 m wohlgeschichteter grauer Sand, der von O. nach W. grobkörniger wird und schliesslich in feine Kiese übergeht.

2 m ungeschichteter Kies, durch eine Schichtenfuge in 2 Bänke geteilt, die nach W. übergeht in eine allmählich 30 cm mächtig werdende Sandlage, mit unregelmässiger Schichtung (Deltaschichtung).

2 m regellos geschichteter Sand, der nach W. grobkörnig wird und sich in ein Kieslager fortsetzt, mit einzelnen kurzen sandigen Zwischenschichten.

Am 19. August 1893 begann man mit der Anlage einer Brunnenbohrung SO. von Askabad, deren Profil mir durch Herrn Chefingenieur Uspenski mitgeteilt wurde; da eine Umrechnung der Saschen (= 213 cm) zwecklos wäre, gebe ich hier die russischen Originaltiefenangaben:

Tiefe in Saschen bis:	Bodenbeschaffenheit:
0,524	grauer Lehm, ungeschichtet
4,333	Kies mit Lehm, nach unten übergehend in reinen Kies
6,417	Kalkgerölle
8,345	feuchter Sand
11,750	brauner, zäher, fester Lehm
13,898	kiesführender brauner Lehm
43,928	brauner, zäher, trockener Lehm
46,143	brauner Lehm mit 3 sandigen Zwischenlagen
47,381	kieshaltiger brauner Lehm
50,048	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
52,714	brauner, trockener Lehm
54,714	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
60,047	brauner, fester, trockener Lehm
64 428	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
72,559	brauner, fester, trockener Lehm
72,976	Kies
74,250	brauner Lehm
74,929	Kalkgerölle in thonigem Bindemittel
85,309	brauner, trockener Lehm
85,774	brauner Lehm mit Geröllen
90,512	brauner, fester Lehm
90,655	brauner Lehm mit Geröllen
92,571	brauner, fester Lehm
93,714	Kalkgerölle
95,405	brauner Lehm mit Kies gemischt
97,155	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
101,838	brauner, fester, zäher Lehm
104,095	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
105,047	brauner Lehm mit Kies und 2 Sandschichten
105,298	brauner Lehm mit Kies
107,321	Kalkgerölle
107,464	Kies mit Lehm
107,869	reiner Kies
108,524	brauner Lehm mit Kies
109,166	brauner Lehm
115,190	brauner Lehm mit 5 Sandschichten
121,524	brauner, fester, zäher Lehm
123,036	brauner Lehm mit 3 Sandschichten
123,548	brauner Lehm mit Kies und 1 Sandschicht.
124,179	brauner Lehm mit 2 Sandschichten
124,821	Kalkgerölle
145,750	brauner, zäher, trockener Lehm
146,333	brauner Lehm mit Sand u. Kies
147,428	Kalkgerölle
171,405	brauner, fester, zäher Lehm
174,821	brauner, sandiger Lehm mit 4 Sandschichten
189,119	brauner, zäher Lehm
190,095	grobes Kalkgeröll
201,02	brauner, zäher Lehm
204,29	brauner Lehm mit 4 Schichten groben Sandes
204,81	brauner Lehm

Tiefe in Saschen bis	Bodenbeschaffenheit:	Tiefe in Saschen bis	Bodenbeschaffenheit:
207,30	brauner, zäher Lehm	249,8	brauner, zäher Lehm
207,73	brauner Lehm	255,7	sandiger Lehm mit einer sandigen Mittelzone
208,06	brauner, zäher Lehm	256,25	brauner Lehm
208,36	Kalkgeröll mit Sand	259,57	sandiger Lehm
208,80	brauner Lehm	260,08	Kies
209,11	brauner, zäher Lehm	261,88	Kies
210,05	Kalkgeröll	262,16	brauner Lehm
210,88	Kies mit Lehm	262,61	Kies
234,0	brauner, zäher Lehm	297,17	Lehm
235,0	brauner Lehm mit verhärteten Sandschichten	300,00	Lehm
237,5	brauner Lehm	303,84	Lehm
240,44	brauner, sandiger Lehm	304,64	Kies
241,35	Kalkgeröll	313,69	brauner, zäher Lehm.

Dieses 666 m tiefe Profil zeigt nirgends eine Spur von organischen Wesen, und der beständige Wechsel von Löss, Sand und Kies entspricht so vollkommen den Alluvionen an der Oberfläche der transcaspischen Wüsten, dass ich die Ablagerung in ihrer ganzen Mächtigkeit für die Ausfüllung einer Wüstendepression unter denselben klimatischen Bedingungen halte, die jetzt noch in Transcaspien herrschen. Der Mangel jeder wasserführenden Schicht ist die Folge des raschen Auskeilens der verschiedenen Sedimente und entspricht vollkommen den Aufschlüssen, die wir oben beschrieben haben.

Obwohl wir die mit dem Kies wechsellagernden anderen Sedimente der turkmenischen Wüste noch eingehender zu schildern haben, so mag doch hier noch eine Uebersicht des heteropischen Verbandes der verschiedenen dort auftretenden Facies folgen, soweit die beobachteten Aufschlüsse ein Urteil erlauben: Auf einer sehr unebenen Denudationsfläche, die im allgemeinen den Charakter einer grossen Mulde von 50—500 km Durchmesser besitzt, ruht eine über 660 m mächtige Schichtenfolge, die vom Rande nach dem Innern einen zonaren Aufbau erkennen lässt. Mächtige Konglomerate, aus grossen und kleinen Blöcken von sehr verschiedenartigen Gesteinen der umliegenden Gebirge aufgeschüttet, werden allmählich durch sandige oder thonige Zwischenschichten in einzelne Bänke getrennt, die nach und nach auskeilen und einer Sandsteinablagerung Platz machen, die, wie wir das noch nachweisen werden, aus mächtigen Sandlagern zusammengesetzt ist. Einzelne Thonschichten zwischen den Psammiten keilen rasch aus und gliedern die fossilleere Ablagerung in mächtige Bänke. Seltene Fragmente von versteinertem Holz, Trockenrisse, Regentropfen und Fussspuren verschiedener Tiere sind darin zu finden. Die thonige Beschaffenheit der Zwischenlager kann zu einer pelitischen Entwicklung führen, bei welcher endlich schwarze, graue, gelbe und rote wohlgeschichtete Mergel, mit Gyps und Salzstöcken und einer vielleicht reichen Fischfauna, kalkarmen Muscheln und Schnecken und zahllosen Muschelkrebsen auftreten. Aber dies alles wurde in einem abflusslosen Becken, innerhalb des Wüstengürtels, in beliebiger Höhe über oder unter dem Meeresniveau gebildet.

Wir wenden uns zum Schluss der westlichen Sinaiküste zu, um zu schildern, in welcher Weise hier die Kieswüste in heteropischen Verband mit den Korallenriffen des Roten Meeres tritt. Mehrere Tage war ich durch die Granitfelsen der südlichen Sinaihalbinsel geritten, immer aufs neue überrascht von den abenteuerlichen Felsenformen, welche trockene Verwitterung und Deflation erzeugt hatten. Unter dem Einfluss der Insolation war der rote Granit zerbröckelt, am Fuss der Felsen lag der unsortierte Granitsand, während in allen Schluchten und Thälern, ja hoch hinauf an den Felsennadeln des Krên Utud der vom Wind gereinigte Quarzsand geflogen war. Im Uadi Hascheb waren diese eingewehten Sande zu einem 10 m mächtigen, dickbankigen Sandstein verkittet, der diskordant den Granit überlagerte. Wo krystallinische Schiefer und Porphyrgesteine die Berge zusammensetzten, da waren die Felsen zerklüftet und zerspalten, und riesige Blockmeere erfüllten die Uadis (s. Bild 6) und Thalkessel mit ihren Konglomeraten. Im Uadi Mbel erlebte ich ein kurzes Gewitter mit heftigem Regen, der nach kurzer Zeit die trockene Thalsohle fusshoch überflutete und meine Beduinen vom wärmenden Feuer nach den höheren Thalstufen hinauftrieb. Mit Poltern und Getöse schleppten die Wasser selbst grössere Gerölle aus dem Thal hinaus auf die vorliegende Ebene, und als ich am nächsten Morgen den Ausgang des Thalsystems erreichte und über die weite Kieswüste zog, konnte ich mehrere Kilometer weit den Verwüstungsbereich des Wolkenbruchs verfolgen. Tiefe Risse waren vom Wasser eingeschnitten, schlammbedeckte Wüstenkräuter waren weithin verschleppt, und mancher neue Aufschluss war in dem Kiesboden geschaffen. Vom Fuss des Gebirges senkte sich die Ebene etwa 30 km breit und mit fast unmerklicher Neigung, um vielleicht 200 m, bis hinab zum korallenriffgesäumten Ufer des Roten Meeres. Indem wir über diese Ebene ritten und deren lithologische Beschaffenheit studierten, wandelte sich langsam die Facies. Die am Gebirgsfuss heraustretenden Trockendelta der Uadi verlängerten sich in lange Blockwälle, zwischen denen ein grünbewachsenes, allmählich flacher werdendes Thal dahinzog. Noch ragten hie und da anstehende Felsen aus dem Schuttmeere auf: zerbröckelnde Granitfelsen, umgeben von einem sandigen Hof, denudierte Porphyrgänge, welche die umliegende Kiesfläche mit Porphyrblöcken übersäten.

Wie eine Schneedecke verhüllt der Schutt die topographische Mannigfaltigkeit des denudierten Grundgebirges, und seine nahezu ebene Auflagerungsfläche steht in scharfem Gegensatz zu der vielgestaltigen Denudationsfläche in der Tiefe. Die Spuren des Wassers verschwinden mehr und mehr, und immer häufiger werden die Wirkungen des Wüstenwindes. Dreikanter, blatternarbige Schliffe, braune Schutzrinden sind überall zu bemerken. Grosse Porphyrblöcke sind durch zahllose Spalten zerlegt, Granitgerölle zerbröckeln zu grandigem Grus. So werden die Gerölle immer weiter zerkleinert und zwischen den Kiesflächen treten kiesfreie Felder auf, aus Sand oder eingetrocknetem Schlamm bestehend. Die Korngrösse des Sedimentes nimmt ab, und die Konglo-

meratfacies verwandelt sich in eine Sandzone und endlich in pelitische Ablagerungen mit den ersten Spuren mariner Muscheln und Schnecken.

Indem wir uns der Küste nähern, treten vereinzelte Sandhaufen zu Sandregionen zusammen, an anderen Orten aber liegt eine salzige, mit Gypskrystallen gespickte Thonebene vor uns, die unsere Karawane im weiten Bogen umgeht, da wir selbst zu Fuss nur mühsam auf dem glatten, feuchten Schlammboden vorwärtsdringen können. Der braune oder grüne Salzthon, der bei hoher Flut jedenfalls vom Meere erreicht wird, zeigt ein seltsames Gemisch festländischer und mariner Charaktere. Polygonale Trockenrisse und die Spuren von Strandvögeln sind in der äusseren Zone häufig, während nach dem Meere zu kilometerweite Flächen von kleinen Cerithien wie übersät sind. Viele Krabben huschen über den Strand oder kriechen in ihre selbstgegrabenen Löcher, indem ihre Beinspitzen eine zierliche Spur hinterlassen. Schon treten die weissen Bänder von Muschelsäumen auf, die der Sturm ans Ufer geworfen hat, unzählige Mactra sind darin aufgehäuft. Wir kommen an das Meeresufer und brauchen nur wenige Schritte in das Wasser hineinzuwandern, um bald die bunte Farbenpracht der Korallenriffe durch die klare Flut leuchten zu sehen. Nahe dem Ufer stehen subfossile Korallenkalke an, halb von Sand und Schlamm verdeckt, dann kommen Rasen spangrüner Seegräser, zwischen denen eine reiche Mikrofauna von Gastropoden und Würmern lebt. Auf dem weissschimmernden Kalksand liegen schwarze Echinometren in grosser Zahl und endlich erreichen wir das farbenreiche Madreporenriff.

Die einzelnen Riffe erheben sich 5—15 m über den Meeresboden und werden getrennt durch tiefe Gründe, belebt von einem reichen Tierleben; die Dredge bringt bald den weissen oder buntgesprenkelten Kalksand zerbrochener Conchilien herauf, bald einen kalkreichen, weissgrauen zähen Schlamm.

Der grosse Wechsel der hier auf eine Entfernung von 30 km heteropisch mit einander verbundenen Sedimente wird noch vermehrt, wenn wir an die unter ähnlichen Umständen auftretenden Kalkoolithe im nördlichen Teil der Bucht von Suez erinnern. Und wenn wir das soeben durchwanderte Gebiet im Querschnitt betrachten könnten, so sähen wir auf einem quer über das Rote Meer gelegten Profil etwa folgende Gesteinsserie: Eine durch Deflation entstandene weite Denudationsfläche wird in ihrer Mitte von einer relativ schmalen Abrasionsebene unterbrochen, die auf den dislozierten und grabenartig eingesunkenen Erdschollen entstand. Im heteropischen Verband liegen von Ost nach West zuerst äolische Sandsteine, wechsellagernd und verbunden mit mächtigen Konglomeraten. Indem die Korngrösse allmählich abnimmt, entstehen Sandsteine und geschichtete Salzthone, und diese wiederum gehen in kalkreiche marine Mergel über, aus denen, vielleicht später dolomitisiert, Kalklinsen riffartig aufragen. Jenseits der 50 km breiten marinen Zone folgen dann wiederum Sandsteine und Konglomerate festländischer Entstehung.



39. Schuttmassen am Ostabfall des Galalaplateau's.



40. Reste von Uadischutt im Uadi Rigbe.

Ich glaube, dass die drei geschilderten recenten Profile am besten zeigen, wie mannigfaltig die Beziehungen der Kiesablagerungen in der Wüste sind, und wie interessante Fingerzeige das Studium der Kieswüste für die Entstehung mächtiger Konglomerate giebt.

Indem Wasser und Wind den Gehängeschutt in der Wüste bearbeiten und je nach ihrer Leistungsfähigkeit transportieren, trennen sie das wirr durcheinander gelagerte grobe und feinkörnige Material in seine Elemente. Und wenn auch viele Uebergänge vorhanden sind, so lassen sich doch leicht bestimmte Typen neugebildeter Sedimente unterscheiden. Das Wasser schleppt an seinem Grunde Blöcke und Gerölle weiter, entkantet und rundet sie und bildet damit ein Konglomerat, das mit Granden und groben Sanden wechsellagert. Die feinsten Splitter von Sand und alle thonigen Bestandteile werden im Wasser suspendiert, als Flusstrübe weitergetragen und kommen erst da zur Ruhe, wo das Wasser seine fliessende Bewegung verliert.

Aber keines dieser Elemente kann die Grenzen der abflusslosen Wüste verlassen. Die ringsgeschlossene Wasserscheide bildet eine unübersteigliche Mauer, und so muss diese ganze Masse grobklastischen Verwitterungsschuttes innerhalb der Wüste bleiben und zu hartem Gestein verkittet werden. In riesiger Mächtigkeit sehen wir dann fossilleere Konglomerate den Erdschichten eingeschaltet, die, tumultuarisch entstanden, über weite Flächen verbreitet sind, und die jeder natürlichen Erklärung spotten, wenn wir nicht bei dem Studium recenter Wüsten dieselben Vorgänge und dieselben Wirkungen kennen gelernt hätten.

10. Schlamm und Seelöss.

Weithin hat ein Wolkenbruch das Wüstengelände mit Wasser überschüttet, und ein schlammiger, reissender Strom wälzt sich den Niederungen zu. Statt eines regelmässig abgedachten Thalsystemes findet er die regellosen Trockenthäler und die weiten Wannen der Wüste. So strömt das Wasser in einem seltsamen Labyrinth vielverschlungener Senken dahin; wie ein Exsiccator entzieht ihm der ausgedörrte Boden grosse Wassermengen, und wenn der schlammige Strom die Ebene erreicht, dann genügt schon seine Kraft nicht mehr, um grosse Blöcke weiter zu tragen. Sand und Schlamm reichern sich relativ immer mehr in dem Wasser an, und als ein dünner Brei breitet es sich endlich über die horizontale Wüste aus. Nördlich von Kisilarwad beobachtete Obrutschew, wie sich Mitte April ein Takyrbecken in 20 Minuten mit trübem Regenwasser anfüllte. Es entstand ein See der 10—15 km breit und unabsehbar lang war; seine Tiefe betrug anfangs $1\frac{1}{2}$ Zoll, und nahm dann gegen das Dünengebiet bis zu 1 Fuss zu.

Bald macht sich die Wirkung der Sonne geltend, und vielleicht schon nach wenigen Tagen ist die ganze Seefläche eingetrocknet. Trockenrisse bringen den Boden zum Klaffen, und eine tote Lehmfläche, der turkmenische Takyr, die centralasiatische Schala,[1]) die afrikanische Sebcha, liegt vor unseren Augen.

Wheeler[2]) beobachtete in Südcalifornien die Ueberreste eines solchen Trockensees, der von den dort wohnenden Kauruga-Indianern mit Wasser gefüllt gesehen worden war. »Dicke eingetrocknete Kalkkrusten hoben sich lebhaft ab von dem roten Granit des Ufers, die Schalen von Seemuscheln lagen überall umher«. Man kann daraus schliessen, dass der See lange Zeit mit Wasser gefüllt war, dass eine Muschelfauna sich darin angesiedelt hatte und Zeit zum Wachsen fand, dass endlich das Wasser kalkreich war, sodass beim Eindampfen des Sees Kalkniederschläge entstanden.

So giebt es zahllose Uebergänge von vergänglichen kleinen Wasserpfützen bis zu grossen Seebecken, die viele Jahre bestehen; aber in allen Fällen bildet

[1]) Przewalski, Peterm. Geogr. Mitt. 1889, S. 9.

[2]) Peterm. Geogr. Mitt. 1876, S. 423.

sich am Boden der Wasseransammlung ein schlammiges Sediment, das wohlgeschichtet ist und nur durch den Mangel an marinen Fossilien sich von echten marinen Sedimenten unterscheidet. Mag es aber weicher Seeschlamm oder harter Lehmboden sein, mag es unter dem Spiegel eines blauen Sees liegen, oder als Thonebene von den Strahlen der Wüstensonne zerspalten werden, lithologisch ist es immer dasselbe Gestein.

Sehr richtig weist Radde[1]) darauf hin, dass Takyrböden und »Seelöss« nur verschiedene Ausdrücke für dasselbe Sediment sind.

Obrutschew hat durch mechanische Analyse das Verhältnis von Thon- und Sandbestandteilen in Takyrböden festgestellt. Er fand

	Thon	Sand
bei Schegrislam	100 %	—
Matyr	95 %	5 %
Matyr	60 %	40 %
Daulet	40 %	60 %
Annatagan	35 %	65 %

So verwandelt sich der Takyrboden allmählich in sandige Sedimente, die den Uebergang zu äolischen Dünengebieten bilden.

Die Oberfläche des Takyrs ist vollkommen horizontal und so glatt wie ein Parkett. Längs der transcaspischen Bahn zwischen der 2000 m hohen Steilwand des Kopetdagh und der Sandwüste Karakum sieht man viele Meilen weit nur die graugrünen, graubraunen oder durch feinsten Salzstaub silberweiss glänzenden Flächen; s. Bild 47. Wie ein Hauch von Goldbronze überzieht den Boden feines verdorrtes Gras, auf erhöhten Polstern stehen Gruppen von schwarzgrünen Kräutern in vereinzelten Büschen. Wo der Salzstaub den Salzgehalt des Bodens steigert, verschwindet jede Spur von Vegetation und nur am Rande feuchter Stellen sehen wir einen Kranz von dickblätterigen fleischroten oder saftig grünen Salzpflanzen. Tiefe Trockenrisse zerschneiden den Takyrboden in polygonale Felder, die bald 5, bald 50 cm Durchmesser besitzen und so tief in den Boden hinabreichen, dass man überall prächtige Aufschlüsse sieht. Sie zeigen, dass die horizontale Grenzfläche der Ablagerung auch ihre innere Struktur beherrscht. Ausgezeichnete dünnplattige Schichtung des trockenen, eine regelmässige Bänderung des feuchten Bodens ist überaus charakteristisch und entspricht zweifellos den Ueberschwemmungen in jedem Frühjahr. Bald hat das Schmelzwasser aus dem Kopetdagh nur eine Schicht von 1 cm herausgeführt, bald scheint eine handhohe Schlammschicht dem Jahreszuwachs zu entsprechen. Am 15. Juli 1897 war ein heftiger Wolkenbruch bei Kisilarwat herniedergegangen. Am 12. Oktober waren die Trockenrisse noch absolut scharf, und auch die bis ins feinste modellierte Skulptur der Wasserrisse, in denen die Gewässer sich verlaufen hatten, war von modellartiger Frische und Schönheit. Solche kleine Abweichungen der horizontalen Denudations- und Auflagerungsfläche müssen in der neuentstehenden Schichtenfuge jedenfalls auch zum Ausdruck kommen.

---

[1]) Peterm., Erg.-Heft, No. 126, S. 21.

Im Gegensatz zu den unter beständiger Wasserbedeckung entstehenden Schichtenfugen mariner Gesteine sah ich hier jenen Vorgang verwirklicht, der bei geologischen Diskussionen vielfach als die »normale Ursache der Schichtung« bezeichnet wird. Eine Periode lebhafter Anfuhr von Sediment wird unterbrochen durch eine Zeit der Eintrocknung und Verfestigung der eben gebildeten Schicht, und die ganze Fläche des quadratmeilengrossen Takyrs ist einmal Wassergrund, dann Strandgebilde. Manche wohlgeschichteten »Strandbildungen« aus älteren Formationen mögen auf dieselbe Weise entstanden sein.

Man sollte meinen, dass die heftigen Stürme der trockenen Jahreszeit den feinen Schlamm des Takyrbodens wieder davontragen könnten, aber das ist nicht der Fall. Eine feuchte Boden-Fläche ist dem Wind gegenüber vollkommen unangreifbar. Keine Düne bewegt sich während der regnerischen oder schneereichen Jahreszeit, und der zerreibliche Lössboden erscheint wie gefeit gegen die Deflation. Im Gegenteil muss auf dem durch hygroskopische Salze feuchtgehaltenen Takyrboden Centralasiens oder auf den Sebchaflächen am Ufer des Roten Meeres jedes Stäubchen festkleben, das der Wind darüber hinträgt. Und so wachsen sogar die Thonböden während der trockenen Jahreszeit. Nach einem heftigen Staubwind sieht man solche feuchte Takyrböden wie mit braunem Kakaopulver bestreut; die Salze effloresciеren nach oben, befeuchten immer wieder die Oberfläche, und wieder können neue Staubmassen festkleben. An den prachtvollen Löss-Profilen in der Sjabschlucht bei Samarkand, ebenso wie in den Lösswänden, die nahe den Ruinen der verlassenen Stadt Chiviabad bei Kaaka aufgeschlossen sind, war der Mangel an Wurzelröhrchen so auffallend, dass die Mitwirkung von Pflanzen bei der Aufhäufung des Lössstaubes nicht wesentlich sein konnte. Ich glaube, es handelt sich in solchen Fällen um einen Takyrboden, der, ursprünglich salzgetränkt, durch seine hygroskopische Feuchtigkeit gewachsen war und später durch Dränage seinen Salzgehalt rasch verloren hat.

Was uns die Takyrflächen im Grossen zeigen, das sehen wir an den turkmenischen »Schori« im Kleinen. Mitten zwischen den Sanddünen der Karakum sieht man oft langgestreckte oder rundliche Vertiefungen, die, von Lehmboden oder salzigem Wasser bedeckt, als ehemalige Flussbetten gedeutet und mit dem »alten Oxuslauf« in Verbindung gebracht worden sind. Die Karawanen, welche die Karakum durchziehen, folgen mit Vorliebe dem Verlauf der Schori, weil sie hier ebenen Boden und oftmals Wasser finden, und weil die reichlichere Vegetation ihren Kamelen mundet. Die Schori sind Vertiefungen zwischen den Dünen, in denen die gelegentlich fallenden Regenwasser sich sammeln, den von den Dünen herabgeschwemmten Thonstaub zu dünnen Thonschichten formen und mit ihren Salzen sogar kleine Salzschichten bilden können. Beim Weiterwandern der Dünen geraten diese Sedimente mitten zwischen die Sandablagerung, und erscheinen später auf dem Profil als thonige oder salzige Einlagerung. Während Takyr und Schori durch vorübergehende Regengüsse gebildet werden,

sind die beständigen **Wüstenseen** in ganz ähnlicher Weise der Schauplatz einer grossartigen Sedimentation.

Die überaus intensive trockene Verwitterung und die weite Verbreitung von Sand- und Thonböden in den Ebenen der Wüste bedingen es, dass die Wüstenflüsse meist sehr schlammreiches Wasser haben und dass ihr Sedimentgehalt besonders während des Hochwassers eine ganz beträchtliche Höhe erreicht. Sie ähneln darin den Gletscherbächen, die aus dem unerschöpflichen Vorrat feinzerriebenen Moränenmaterials ihre Flusstrübe erhalten. Auch die Flüsse, die aus benachbarten Klimazonen der Wüste zuströmen, tragen grosse Massen von Schlamm herbei, denn jede Wüste ist umgeben von einer bald schmalen, bald ausgedehnten Zone eines Landes, das durch seine topographische Abdachung zu dem abflusslosen Gebiete gehört, obwohl es keine Wüste ist. So wird ganz Russland bis zu den Waldaihöhen bei Petersburg und zu dem Denischkin Kamen im Ural der caspischen Depression tributär, und alle lithogenetischen Prozesse, soweit sie an die Thätigkeit des Wassers gebunden sind, enden in einem Wüstenbecken.

Die Wannen in der Wüste bilden die grossen Kessel, in denen das in weiter Ferne gefallene Wasser verdunstet, und da auch ein grosser Teil der Flussläufe in diesen Verdunstungsbereich fällt, so muss jeder dorthin strömende Fluss immer wasserärmer und damit schlammreicher werden. Wenn von der Fläche des Caspi nach Wojekow jedes Jahr eine Wasserschicht von 1 m verdunstet, so muss von der beständig bewegten Oberfläche der unteren Wolga, des Terek, der Kura mindestens ebensoviel Wasser verdampfen, und da die Flusstrübe im Verdampfungsrückstand bleibt, so reichert sie sich relativ immer mehr an. Von der Fläche des Amudarja verdunsteten im Jahre 1874/5 gegen 1280 mm. Das ist bei einer mittleren Tiefe von 2100 mm eine sehr erhebliche Grösse.

Der Flussschlamm wird zum Teil im Flussbett und auf den flachen Ufern des Ueberschwemmungsgebietes abgelagert. Eine bis 60 cm dicke Schicht ganz weichen Schlammes fand man überall bei den Lotungen am Boden des Amudarja. Als die 5 km lange Pfahlbrücke bei Tschardschui zum ersten Mal von einem Eisenbahnzug befahren wurde, sank der ganze Bau um 18 cm in den Schlamm hinein. Ein von russischen Ingenieuren mit neun Bohrungen quer über das Flussbett bei Tschardschui gelegtes Profil ergab eine Mächtigkeit des Flussschlammes von 10—23 m. Der Amudarja wandert nun dem von Baer'schen Stromgesetz folgend ebenso wie die Wolga oder der Syrdarja nach rechts, und die breite Ueberschwemmungsfläche an seinem linken Ufer legt Zeugnis davon ab, wie lebhaft der Niederschlag von Flusstrübe auf dieser Seite ist. Die ganze Breite des schlammreichen Flusses ist von vielen Schlamminseln unterbrochen, die eine ausgezeichnete horizontale Schichtung erkennen lassen. Wohlgeschichtet sind ebenso die trocken liegenden Schlammbänke auf dem linken Ufer, zwischen denen verödete Flussbetten und halbverdampfte

Altwasser zu bemerken sind. Nach den Beobachtungen russischer Ingenieure, die seit Jahren am Ufer des Amudarja amtlich beschäftigt sind, rückt der Fluss in 20 Jahren etwa 1 km nach rechts. Wenn wir den Vorgang des Wanderns und der Schlammablagerung im Flussbett historisch in die Vergangenheit zurückverfolgen, so werden wir zu der Annahme geführt, dass ein solcher wandernder schlammreicher Fluss eine Ablagerung von geschichtetem Flussschlamm über eine sehr weite Fläche ausbreitet, so dass auf diesem Wege eine transgredierende Süsswasserablagerung entsteht.

Die Menge von Schlamm, die von dem strömenden Gewässer aber weitergeführt wird, kommt endlich zu Ruhe in dem Delta und auf dem Grunde des Binnensees, in welchem der Wüstenstrom sein Ende findet. Jedes Stäubchen, das durch Verwitterung im Ural gelockert, von der Kama und anderen Nebenflüssen der Wolga nach Süden getragen wird, kommt endlich zum Absatz in dem Caspischen »Meere«; die Flusstrübe, welche zahllose Flüsse aus dem Hindukusch, Pamir und Thianschan herausbefördern, wird abgelagert im Aral, Balkasch und anderen abflusslosen Seen Centralasiens. In allen echten Binnenseen findet somit eine Anhäufung von pelitischen Sedimenten statt, die ähnliche Ablagerungen in einem marinen Delta weit übertrifft, und wenn nach R. Credner die Delta der in einen Binnensee mündenden Flüsse viel rascher wachsen, als ein mariner Mündungskegel, so ist das nur eine Teilerscheinung in der intensiven Zufüllung der abflusslosen Becken.

Wenn ein schlammreicher Fluss in das Weltmeer mündet, dann fallen in der Regel unter dem Einfluss der Salzlösung die Sedimente zu Boden, die als Flusstrübe den weiten Weg aus dem Innern des Festlandes zurückgelegt haben. Es bildet sich ein Delta, das sich unter dem wechselnden Einfluss mariner und limnischer Bedingungen aufschichtet. Die Karte, welche J. Murray über die Verteilung der marinen Sedimente veröffentlicht hat, zeigt uns neben den Deltabastionen den Saum terrigener Ablagerungen in wechselnder Breite um alle Kontinente ziehend. Aber manche, selbst bedeutende Flüsse haben kein Delta, obwohl sie nicht weniger Schlamm führen; ja sogar eine untermeerische Rinne zeigt uns an, wie weit hinaus der terrigene Flussschlamm getragen wird. So werden also bedeutende Massen von Sand und Schlamm jenseits des Mündungsgebietes über den unermesslichen Boden des Weltmeeres gebreitet, und die Menge dieses Flussschlammes verschwindet gegenüber der ungeheuren Fläche des Meeresgrundes.

Bei den abflusslosen Seen besteht ein Missverhältnis zwischen Stromgebiet und Ablagerungsfläche im umgekehrten Sinne. Das Stromgebiet der Wolga umfasst 26500 Quadratmeilen. Dazu kommen noch etwa 18000 Quadratmeilen von den Flüssen Ural, Terek, Kura, Sefidrud, Görghan und Atrek. Dieser Fläche von 34500 Quadratmeilen, innerhalb deren eine riesige Masse von Verwitterungsschutt gebildet wird, steht die Bodenfläche des Caspi mit 8000 Quadratmeilen gegenüber. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse beim

Aralsee, der über eine Fläche von 1200 Quadratmeilen verfügt zur Ablagerung von Sedimenten, die auf einem Gebiet von mindestens 13000 Quadratmeilen gebildet worden sind. In feinsinniger Weise hat Peschel[1]) darauf hingewiesen, dass man die geographischen Formen als Ausdruck genetischer Prozesse betrachten musse, und hat an dem Bilde des Aralsees gezeigt, wie demselben der Eindampfungsprozess eines abflusslosen Beckens aufgeprägt ist. Ein ähnlich überraschendes Bild gewährt uns die Karte des Balkaschsees. Aus dem tiefen Längsthal zwischen dem Thianschan und Irencha-Gebirge strömt der mächtige Ili in das Siebenstromland von Semijetschensk hinab, gabelt sich in einem gewaltigen Delta und drängt die Wasser des einst sicherlich doppelt so breiten Sees auf eine schmale nördliche Randzone zusammen. Der See[2]) ist 607 km lang und an der breitesten Stelle nur 90 km breit. Seine mittlere Tiefe scheint 5—10 m zu betragen, die grösste gemessene Tiefe 21 m. Durch die Schneeschmelze steigt im Mai das Wasser des Ili rasch an und erhöht die Wasserschicht des Sees um $1^1/_2$ m. Dann überschwemmt der See weithin seine flachen Ufer. Der Salzgehalt nimmt nach NO. so zu, dass das Wasser ganz ungeniessbar wird. Nach Nikolski[3]) sinkt der Seespiegel in 15 Jahren um 1 m, und es verdunsten von seiner Fläche 1300 Mill. Kubikmeter mehr, als die wasserreichen Zuflüsse betragen.

Um sich ein Bild von dem Vorgang der Zufüllung eines Wüstenbeckens und von der hohen erdgeschichtlichen Bedeutung dieses Prozesses zu machen, darf man jedoch solche Thatsachen nicht isoliert behandeln, sondern muss die Landschaftsformen der abflusslosen Becken in eine genetische Reihe ordnen und die gesetzmässige Wirkung des Wüstenklimas mit den Erfahrungen verknüpfen, die man aus dem Studium der Alluvionen gewonnen hat. Den Anfang bildet eine weite leere Depression, entstanden als Oasenkessel durch Deflation, oder als Senkungsfeld durch tektonische Bewegung. Das Dead Valley in Nordamerika und das Tote Meer in Palästina mögen als Beispiel dienen. Die allgemeine Form der Depression ist die eines nach unten sich verjüngenden, nach oben immer flacher werdenden Trichters. Alle Regenwasser, die in dem ganzen Abflussbereich fallen, sammeln sich in der steilwandigen Innenregion des Trichters und bringen alle ihre klastischen und chemischen Sedimente herbei, um die Depression auszufüllen. Nehmen wir die Summe des jährlich fallenden Wassers als konstant und ebenso die Masse der herbeigetragenen Sedimente als gleichbleibend an, so wird in jedem Jahr das Wasser des gebildeten Sees seichter, denn jeder höhere Kegelschnitt besitzt bei gleichem Volumen eine grössere Oberflache. Wenn nun auch die Verdunstungsgrösse sich immer gleich bleibt, so muss in jedem folgenden Jahre mehr Wasser verdunsten als in der vorausgehenden Periode. Gleichzeitig erhöhen die ein-

[1]) Neue Probleme der vergl. Erdkunde. 1870, S. 4.

[2]) Fischer. Ref. in Peterm. Geogr. Mitt. 1885. S. 149.

[3]) Venukow. Compt. Rendues Acad. de Paris. 1886. II., S. 1045.

mündenden Flüsse beständig ihre Sohle und vermindern ihre Gefälle. Immer breiter wird die von ihnen bei Hochwasser bespülte Ueberschwemmungsfläche, und immer mehr überwiegt auch hier die Verdunstung über die Wassermenge. So veröden Seitenarme und Deltaarme, immer salzreicher wird das Wasser des übrigbleibenden Seereliktes, und endlich wird nur noch während der Regenperioden fliessendes Wasser nach der Depression gelangen.

Wir werden an diesen Gedankengang noch einmal anknüpfen, wenn wir die Abscheidung löslicher Salze schildern. Hier mag nur nochmals betont werden, dass diese theoretische Entwicklungsreihe den thatsächlichen Verhältnissen entnommen ist, und dass dieser Vorgang trotz aller Abweichungen überall in allen abflusslosen Gebieten das lithogenetische Schema beherrscht.

Besonders ist es eine Erscheinung, die hierbei verändernd und modifizierend eingreift und den Umriss des Binnensees bald im positiven, bald im negativen Sinne verschiebt: Das Phänomen der säkularen und geologischen Klimaschwankungen. Die Veränderlichkeit des Klimas im Laufe kürzerer oder längerer Perioden ist eine so bekannte Erscheinung, dass ich auf die geologischen Thatsachen und auf E. Brückners Untersuchungen nur hinzuweisen brauche. In seiner grundlegenden Monographie hat der Autor gerade aus den Formveränderungen abflussloser Binnenseen die wichtigsten Beweise[1]) für die Veränderungen der jährlichen Regenmenge entnommen; denn ein abflussloser See wird in zweifacher Weise hierbei verändert: Wenn die Menge der atmosphärischen Niederschläge sinkt, dann vermindert sich nicht nur der Wasserzufluss, sondern es steigt auch die Intensität der Verdunstung, und beide Ursachen bewirken ein Fallen des Wasserspiegels. Ist nun ein Wüstenbecken soweit mit klastischem Material zugeschüttet, dass die Unebenheiten des Bodens ausgeglichen, tiefe Mulden ausgefüllt und der Boden eingeebnet ist, dann muss jede Veränderung des Wasservolumens eine sehr beträchtliche Aenderung des Seeumrisses veranlassen. Meilenweit rückt der Strand vor, grosse Flächen werden wieder trocken gelegt, und hierbei werden wiederum überall Wirkungen hervorgerufen, die der Geologe als »Strandbildung« bezeichnet.

Die lithologische Struktur der hierbei gebildeten Ablagerungen ist aus der Oberflächenform solcher Seeböden und aus den Profilen, die wir im vorigen Abschnitt mitgeteilt haben, leicht zu erkennen, auch die Aufschlüsse in den fossilen Ablagerungen der aralocaspischen Periode geben interessante Daten. Das Sediment ist wohlgeschichtet, vollkommen horizontale Trennungsfugen gliedern die weitverbreiteten Schichten. Während in der Nähe des Trockendeltas die bekannte Delta-Uebergussschichtung sich bemerkbar macht, und auch noch Kieslager dem Thonschlamm eingeschaltet sind, wird im centralen Seebecken die Schichtung ebenflächig, feinkörnig, und nur durch sandige Zwischenbänke, deren Entstehung wir im folgenden Abschnitt schildern

---

[1]) Klimaschwankungen seit 1700. S. 107—9.

werden, unterbrochen. Bei Besprechung der lösslichen Salze wollen wir auch noch ausführen, dass Kalk, Gyps, Chloride und ähnliche Verbindungen chemisch abgeschieden in feinster Verteilung dem Sediment beigemengt werden. Ganze Muschelbänke bestehen aus den Kalkschalen von Binnenseemuscheln. Fischreste sind überaus zahlreich, und auf den eintrocknenden Flächen des Strandes sind neben Trockenrissen die Spuren wandernder Vierfüssler und ziehender Vögel zu erkennen. Die ausgedehnten Schilfbestände, welche an den Ufern grösserer Wüstenflüsse und besonders im Mündungsgebiet derselben die Wasserflächen überziehen, spielen ebenfalls eine gewisse Rolle, indem ihre vermodernden Reste den Schlamm bituminös verfärben, ja sogar kohlige Zwischenlager bilden können.

11. Dünen und Sandlager.

Feuchter Boden ist dem Winde gegenüber unangreifbar. Wenn aber der Boden eines stehenden Gewässers austrocknet, wenn der breite Strom seine überschwemmten Ufer verlässt, oder wenn die Ebbe ein breites Schorrengebiet trockenlegt, dann bestreicht der Wind die pflanzenlose Fläche, trocknet die letzte Bodenfeuchtigkeit und beginnt sein Spiel mit allem, was er aufheben kann. Sandkörner von 2 mm Durchmesser sind ungefähr die gröbsten Bodenbestandteile, die ein mittlerer Wind zu tragen vermag. Was schwerer ist, bleibt liegen. Der grobe Sand bewegt sich in trägen Wolken über den Boden, der feine Staub aber wirbelt hoch in die Luft und kommt erst nach Wochen zu Ruhe. Die Schicksale des Staubes werden wir im nächsten Abschnitt besprechen, hier wollen wir untersuchen, wie der Dünensand in der Wüste entsteht, wie er sich formt und wandert, und wie er zur Ablagerung kommt.

Jedes quarzhaltige Gestein und jede sandführende Ablagerung kann Wüstensand liefern. Am Abhang des Djebel Nakûs am Sinai, der aus gelbem Nubischen Sandstein besteht, zieht sich eine wohl 50 m hohe Sandfläche herab, deren Tönen die Aufmerksamkeit der Reisenden schon seit langem auf sich gezogen hat. Wenn man die durch Verwitterung stark zerfressenen Sandsteinfelsen betrachtet, dann kann man wohl nicht zweifeln, dass hier der Dünensand aus verwittertem Sandstein entstand. Auf seiner Reise durch Tripolitanien beobachtete von Bary den Zerfall des Sandsteins zu Wüstensand, und auch Rohlfs und Zittel sahen in den von ihnen bereisten Gebieten Aegyptens diese Erscheinung so häufig, dass sie im Sandstein die eigentliche Quelle des Sandes erblickten.

Im Mittelmeergebiet wandern Küstendünen nach der Wüste herein, und Sickenberger fand bei el Arisch im Nildelta, wie ein hornblendereicher Sand folgenden Reiseweg zurückgelegt hatte: Als Verwitterungsprodukt des Hornblendegranits von Assuan kam er mit dem Nil bis zum Mittelmeer, gelangte durch den westöstlich gerichteten Küstenstrom nach el Arisch, wurde durch die Brandung ans Ufer geworfen und durch den Nordwind ins Innere der Isthmuswüste getragen. Am Ausgang des Uadi Deheese fand ich meterhohe Dünen eines recenten Oolithsandes, der ins Innere der Wüste geweht, 3 km landeinwärts noch nachgewiesen werden konnte.

Eine grosse Rolle bei der Bildung von Festlandsdünen spielen die Flüsse. Sokolow hat gezeigt, wie die hohen Flussdünen am linken Ufer der Wolga, die man bei Kasan beobachtet, aus dem Flussschlamm entstehen, und weit in die Kirghisensteppe hineinwandern. Aber das grossartigste Beispiel bieten die centralasiatischen Ströme Syrdarja und Amudarja. Ungeheuere Massen sandigen Schlammes führen die beiden Ströme aus dem Thianschangebirge, dem Pamir und dem Hindukusch heraus. Bohrungen im Bett des Amudarja bei Tschardschui ergaben eine Mächtigkeit des Flussschlammes bis zu 23 m. Beide Ströme wandern, dem v. Bärschen Stromgesetz folgend, von SW. nach NO., und ihr linkes Ufer, von vielverzweigten Kanälen und trockenen Rinnen zerteilt, erreicht eine Breite bis zu 10 km. Von März bis Juli steigt das Wasser um 3 m und überschwemmt weithin das Ufer, um seinen grauen sandigen Schlamm darüber hinzubreiten. Sobald das Wasser des Jaxartes fällt, trocknet der heftige heisse Nordwind die Uferebene und bläst allen Staub und alle Schlammteilchen davon. Den übrig bleibenden, gereinigten Sand aber schüttet der Wind zu Dünen auf, und aus dem Ufergelände steigt die Sandwüste Kysylkum hervor. Mit einer Geschwindigkeit von 20 m an einem stürmischen Tage wandern einzelne Sandberge nach Süden; aber die Durchschnittsgeschwindigkeit des Sandmeeres scheint nur etwa 6 m pro Jahr zu betragen. Jedenfalls gelangt der Sand mit dieser jährlichen Intensität an die Bahnlinie der transcaspischen Eisenbahn und an das Ufer des Amudarja. Auch dieser ist ein sehr schlammreicher Fluss, und auch er hat ein steiles rechtes Ufer, dessen Steilwand durch die Strömung in 20 Jahren einen Kilometer nach NO. zurückweicht, während eine mehrere Kilometer breite Fläche auf dem linken Ufer in jedem Frühjahr weithin überschwemmt wird. Der von Norden herandrängende Sand der Kysylkum stürzt in das Wasser, wird eine Strecke stromabwärts getrieben und bei Hochwasser, vermischt mit dem sandigen Flussschlamm, auf dem linken Ufer wieder abgesetzt. Hier beginnt der Wind auf der eintrocknenden Fläche seine Thätigkeit aufs neue. Wiederum reinigt er den Sand von allen Thonteilchen, wiederum häuft er ihn zu Sandhügeln und Dünen auf, und aufs neue wandert eine breite Sandwüste, die Karakum, transgredierend nach Süden, um sich endlich an dem Gestade des Caspisees mit den dort entstandenen hohen Uferdünen zu vermählen.

Eine weitere Quelle des Wüstensandes sind der Boden und die Küsten von Seen mit wechselndem Wasserstand und der Boden von Trockenseen. Sanddünen werden von den Ufern des Aralsees beschrieben, und an den Ufern des Caspi spielen sie eine grosse Rolle. Sanddünen steigen am Boden des Lake Bonneville[1]) auf und bilden bei Georges Ranch eine Dünenregion, die aus der Terrasse der Provo Shore-Line ihren Ursprung nimmt.

Wie an jedem anderen Meeresufer, so bilden sich an der Küste grosser Binnenseen Sandbänke und Sandwälle aus, die nach dem bekannten Prinzip

[1]) Gilbert, Lake Bonneville. Monographs U. S. G. Survey 1890. S. 332.

der Wandersände am Ufer entlangschreiten und durch sandige Landzungen, Nehrungen, Barren die eingebuchteten Uferstrecken geradlinig abschneiden. Bei Krasnowodsk zieht sich 80 km lang von N. nach S. eine niedrige Sandbank, und sobald sie die Insel Tschelekän erreicht haben wird, muss die Bucht von Krasnowodsk zur Lagune werden. Die weite Fläche des Karabugas ist schon durch die Nehrung abgeschnitten bis auf einen 100—500 m breiten Kanal, und im südlichen Caspi sind andere Nehrungen entweder noch in Bildung begriffen, oder ihre Lagune ist schon vom Lande her zugeschüttet. Dieser Vorgang wird uns später noch zu beschäftigen haben.

Gelegentlich trifft man mitten in der Felsenwüste, am Rand der Hamada oder zwischen Sserirgebieten auf Sanddünen, deren ziemlich mannigfaltige Zusammensetzung aus verschiedenem Sandmaterial auf einen nur geringen Transport schliessen lässt. Sie sind isoliert von allen grösseren Sandgebieten und zeigen deutlich, dass sie aus dem Zerfall benachbarter Felsen oder durch Auslese aus sandhaltigen Sedimenten entstanden sind. Jeder sandige Mergel, jedes quarzhaltige Gestein kann solche Dünen bilden, und Vatonne giebt diesem Vorgang eine besondere Bedeutung für die Entstehung der Dünen bei Chadames.

Eine wichtige, wenn nicht die wichtigste Quelle von Wüstensand sind endlich die krystallinischen Gesteine, wie Gneiss und Granit. Angeregt durch eine kurze Litteraturnotiz[1]) hatte ich in Nordafrika diesem Vorgang besondere Aufmerksamkeit geschenkt und konnte feststellen, dass die aus verschieden gefärbten Gemengteilen zusammengesetzten krystallinischen Gesteine bei geringer chemischer Veränderung einer sehr intensiven Zerbröckelung unterliegen. Die einzelnen Krystalle lösen sich von einander, bilden einen grobkörnigen Grus, und die trockene Verwitterung zerlegt dessen Körner in immer kleinere Bruchstücke. Hierbei werden der leicht spaltende Feldspath, die zerklüftete Hornblende und der Glimmer rasch in feinste Splitter zertrümmert, während die Quarzkörner durch ihren muscheligen Bruch gerundet, durch Reibung geglättet werden und endlich in hohen Sandfahnen zwischen den Granitfelsen (s. Bild 8), und in prachtvollen Dünen (s. Bild 9), an deren Fuss sich anhäufen. Noch sehen wir hier die verschiedenen Gemengteile vereint, bald aber saigert der Wind diesen Embryonalsand, bläst alle feineren Teilchen heraus und hinterlässt endlich einen fast reinen Quarzsand. Auf dieselbe Weise entsteht nach Tenison-Woods[2]) der Wüstensand und -sandstein in Australien. In welcher Weise dieser Sand, besonders wenn er aus gröberen Körnern besteht, sich mit einer Rinde von Eisenoxyd umgiebt, die der braunen Schutzrinde anderer Gesteine äquivalent ist, haben wir früher gezeigt.

So sind es also sehr verschiedenartige Prozesse, die in der Wüste Sand bilden und anhäufen. Wir haben geschildert, wie:

---

[1]) F. von Richthofen, Führer für Forschungsreisende. S. 94.

[2]) Wallace, Australia I. 1893. S. 105.

1. durch verwitternden Sandstein,
2. durch einwandernde Meeresdünen,
3. durch windgereinigten Flussschlamm,
4. aus dem Schlamm von Binnenseen,
5. durch die Verwitterung quarzhaltiger Sedimente,
6. durch den mechanischen Zerfall grobkrystallinischer Gesteine

Wüstensand entsteht, und geben gern zu, dass es auch noch andere Quellen des Wüstensandes geben mag. Wesentlich ist ja nur die Thatsache, dass der Sand innerhalb der Wüste eine so grosse Rolle spielt. Es muss doch seine Gründe haben, dass in einer wohldränierten Landschaft Sanddünen mitten im Lande eine Seltenheit sind und dass dagegen die weiten wasserleeren Wüstenländer so sandreich erscheinen. Nach dem früher Gesagten ist es nicht schwer, diese Thatsache zu erklären. Aus einem dränierten Gebiet führen beständig rinnende Gewässer die Sandkörner leicht nach dem Delta und dem Meeresgrund und räumen immer wieder die Sandbänke und Sanddünen hinweg, die sich im Laufe der Flüsse gebildet haben. Aus der abflusslosen Wüste kann nur der Wind irgend ein Partikelchen heraustragen, und dieser Transportkraft sind die Sandkörner zu schwer.

Udden[1]) hat auf Grund der mechanischen Analyse vieler windgetragener Sedimente folgende Sätze aufgestellt:

Kies von 8—1 mm Durchmesser wird durch den Wind einige Fuss getragen,

grober Sand von 1—$^1/_4$ mm Durchmesser wird durch den Wind mehrere Meter getragen,

feiner Sand von $^1/_4$—$^1/_8$ mm Durchmesser wird durch den Wind über 1 Kilometer getragen,

feiner Sand von $^1/_8$—$^1/_{16}$ mm Durchmesser wird durch den Wind einige Kilometer getragen,

grober Staub von $^1/_{16}$—$^1/_{32}$ mm Durchmesser wird durch den Wind 100 Kilometer getragen,

feiner Staub von $^1/_{32}$—$^1/_{64}$ mm Durchmesser wird durch den Wind 500 Kilometer getragen,

feinster Staub von $^1/_{64}$—? mm Durchmesser wird um die ganze Erde getragen.

In einer Wüste, aus der nur der Wind irgend etwas heraustragen kann, müssen also alle Sandkörner von mehr als $^1/_8$ mm Durchmesser zurückbleiben, während die mit ihnen gemengten feineren Bestandteile alle entfernt werden. Deshalb entsteht aus jedem sandhaltigen Gemisch in der Wüste überall lockerer Sand und muss sich in allen Wüsten anreichern.

Meine Ansicht über die normale Form der Dünen und deren Entstehungsweise hat sich sehr wesentlich verändert, seitdem ich in Transcaspien Gelegenheit hatte, eingehende Beobachtungen über die dortigen Sandberge

[1]) Augustana Library Publications. Rock Island Mass. I. S. 65.

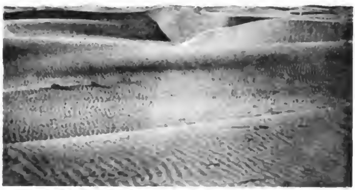
anzustellen. Erscheinungen, die ich früher als seltsame Ausnahme betrachtete, muss ich jetzt für die normale Bildung halten, und die uns von allen Meeresküsten her wohlbekannte Form langgestreckter Dünenkämme erscheint als ein kompliziertes Gebilde, entstanden unter sekundären Bildungsumständen. Die Oase von Buchara liegt am Südrand des Sandmeeres, das vom Jaxartes bis nach dem Oxus, und vom Serafschan bis nach dem Aralsee ein Gebiet von etwa 1800 Quadratmeilen bedeckt. Nach den Beobachtungen von Ingenieur Palezki wandern die Dünenkämme im Winter 12 m nach Norden, im Sommer 18 m nach Süden, und die Gesamtbewegung des Sandes beträgt demgemäss pro Jahr 6 m nach Süden. Das früher sandfreie Ackerland bei Murghab wird seit etwa 60 Jahren vom Flugsand erreicht, und diese äussere Randzone des vordringenden Sandmeeres zwischen dem Kasak-Hanim-Kurgan und der Eisenbahnlinie gab mir Gelegenheit zu eingehenden Studien.

Der feste, graue Thonboden wird hier überlagert von lockerem, gelbem Flugsand; das Sandgebiet endet aber nicht etwa in Gestalt eines einheitlichen Walles, sondern löst sich an seinem Rande in einzelne Sandhaufen auf, welche nebeneinander die verschiedensten Stadien der Dünenbildung beobachten lassen. Der Beginn der Dünenbildung ist ein flacher Sandhaufen von beliebiger Gestalt. Die Entstehung dieses Sandhaufens kann veranlasst werden durch unbedeutende Rauhigkeiten des Bodens, kleine Steinchen oder Grashalme, vielleicht sogar durch die wellenförmige Bewegung der Luftstösse. Jedenfalls ist seine Gestalt sehr wechselnd und regellos.

Sobald auf dem Boden ein solcher flacher Sandhaufen liegt, bildet er für den herantreibenden Sand ein Hindernis, und da die Mehrzahl der treibenden Sandkörner in Schlangenwindungen am Boden entlang geführt wird und nur bei besonders heftigen Windstössen als Sandwolken aufsteigt, so beeinflusst die durch das Sandtreiben geglättete schildförmige Urdüne die Bewegung des Sandes in folgender Weise: Der herantretende Sandstrom trägt einen Teil seiner Körner auf den Rücken des Sandhaufens hinauf und erhöht denselben beständig, indem er gleichzeitig dessen Gipfel immer mehr nach vorn verschiebt. Die grössere Menge des Sandes jedoch gabelt sich vor dem Hindernis und rinnt an beiden Seiten der Urdüne entlang, um sich an deren Leeseite anzusetzen. Dadurch erhält der vorher unregelmässige, dann eiförmige Umriss eine herzförmige Gestalt, und langsam wachsen von den beiden Vorderflanken nach vorn und seitwärts Sandarme heraus, die eine immer weiter werdende, sandfreie Bucht umschliessen. So erhält der Grundriss allmählich eine zugespitzt hufeisenförmige Figur und wird immer mehr zu einem Halbmond umgestaltet. Hand in Hand mit dieser Veränderung des Grundrisses geht eine Umbildung des Profils. Während der grössere Teil des herantreibenden Sandes sich seitlich anlagert und die eben geschilderte Gestalt des Grundrisses erzeugt, wandert ein anderer Teil auf den flachen Sandhaufen hinauf, tanzt auf dessen Rücken weiter und verschiebt den Höhepunkt der Düne nach ihrem Vorderende. Hier liegt dann



41. Barchane der Karakum von vorn.



42. Rippelmarken auf Barchanen.



43. Barchane der Karakum von der Seite.



44. Schuttreste eines Trockensee's im Uadi Esch-Schech.



45. Lössschlucht an der transcaspischen Bahn.



46. Dünen der Karakum.



47. Takyrfläche an der transcaspischen Bahn.

der höchste Punkt der Urdüne in nächster Nähe des ebenen Bodens. Infolgedessen fallen viele der in zahllosen Sprüngen auf den Sandhaufen hinauf-



48. Grundriss von Bogendünen bei Buchara (Maasstab 1 : 3000).

getriebenen Sandkörner in die Halbmondbucht hinab. Und indem sich dieser Vorgang lange Zeit hindurch fortsetzt, erhält das Längsprofil der Düne eine zweifache Abdachung: Die Luvseite wird gebildet von einem langen, sehr lang-

sam aufsteigenden Sandrücken, der durch den horizontal herantreibenden Sand gebildet ist, die Leeseite dagegen entsteht durch den vertikal herabfallenden Sand und muss infolge dessen jenen steilen Böschungswinkel zeigen, den aufgeschütteter Sand erhält. Eine scharfe Kante trennt, nach den Sichelarmen sich abrundend, die beiden Böschungen. Damit ist der typische turkmenische Barchân, die Sicheldüne oder Bogendüne, fertig. Aber die Bogendüne bleibt selten vereinzelt. Benachbarte Sandhaufen haben sich ebenfalls zur Bogendüne umgebildet, und ihre Arme kommen seitlich zur Berührung (s. Bild 41). Wenn auch anfangs vielleicht ihre Front in einem gewissen Abstand lag, so wird derselbe doch rasch verkleinert, sobald ihre Flanken verschmolzen sind, und so entstehen dann Zwillingsbarchane, die bisweilen aus einer langen Kette von einzelnen Halbmonden zusammengesetzt sind. Umstehende Karte zeigt den Grundriss einer Barchanlandschaft, wie ich ihn durch Abschreiten der Abstände zwischen den Sandhaufen, mit freundlicher Hilfe des Herrn Apotheker Reinhard in Buchara, aufgenommen habe.

In Transcaspien ändert sich die Windrichtung periodisch von N. nach S., und ich hatte das grosse Glück, am 2. Oktober 1897 mitten zwischen den Barchanen von Murghab, während eines heftigen Sandsturmes, diese Windänderung zu erleben. Die durch den Nordwind gebildeten und gestalteten Barchane wurden von einem heftigen Südsturm bestrichen, der nicht nur einzelne Dünen innerhalb einer Stunde um $^1/_2$ m verschob, sondern auch ihre Gestalt vollkommen änderte. Der nach S. gerichtete scharfe Kamm verschwand und rundete sich ab, die Sichelarme verkürzten sich, und das Längsprofil begann sich zu verwandeln. Als ich einige Tage darauf durch das Sanddünengebiet der inneren Karakum fuhr, waren an den Barchanen wesentliche Formveränderungen zu bemerken. Ein nach N. umgekrempelter Rand zog sich quer über den Sandrücken hinweg und begann längs desselben nach N. zu wandern. Die nach S. gerichteten Sichelarme waren verschwunden, während zwei neue Sichelarme, nach N. gerichtet, beiderseits von dem Sandkamm herauswuchsen.

Man kann sich kaum ein seltsameres und zugleich charakteristischeres Landschaftsbild denken, als wenn man die transcaspische Bahn in Russisch-Turkestan verlässt und in das unermessliche Sandmeer eindringt, das der kühne General Annenkow mit seiner Bahnlinie auf wohl 200 km Länge durchschnitt (s. Bild 46). Wie die Wogen eines aufgeregten Meeres türmen sich ringsum die Sandberge 10—15 m hoch über die sandige Wüstenfläche empor. Vereinzelte Grasbüsche, graugrüne Tamarisken und dornige Akazien sind zwischen und auf den Sandhügeln verstreut (s. Bild 41). Aber so weit das Auge reicht, erblickt es nichts als gelben Sand, nichts als halbmondförmige Sicheldünen und zwischen denselben tiefe Sandmulden. Ein kräftiger Wind erhebt sich, und die Dünenkämme geraten in Bewegung. Auf der dem Winde zugekehrten, sanft ansteigenden Luvseite rollen die Sandkörner bergan, die ganze Fläche des breiten Dünenrückens scheint zu leben, überall kriechen und tanzen die Sandkörner in

lustigem Spiel dahin. Und so gelangen sie endlich auf den Dünenkamm, der scharf wie ein Messerrücken den sanft gerundeten Dünendom von der steil abfallenden Stirn des Sandberges trennt. Der Kamm scheint zu dampfen, so wirbelt der Wind die Sandkörner über ihn hinaus, doch rasch sinken sie hinab und bilden die steile Böschung der halbmondförmig gebogenen Mulde, in der sich der Sandhügel verliert (s. Bild 41 und 42).

Die weite Verbreitung der Bogendünen in Centralasien ist in der Literatur oft betont worden. Die Sanddünen von Arabien gehören zu demselben Typus; aus der Nefud-Wüste beschreiben sie Lady Blunt [1]) und Euting [2]) unter dem Namen der Fuljes, die von den tiefen Löchern der Kaar unterbrochen werden. Weit verbreitet sind nach Nachtigal [3]) die Bogendünen bei Borku. Sickenberger schreibt mir: Bogendünen sind in und um die libyschen Oasen in grosser Häufigkeit zu finden. Aehnliche Bildungen finden sich in der Isthmus-Wüste zwischen el Arisch und Quatich. Sie werden von den Beduinen als die »Fusstapfen des Abu Zed« bezeichnet, als aus der Zeit herrührend, wo er auszog, den Berdawil zu bekämpfen. Auch in den Oasen entspricht die konvexe Seite der Himmelsrichtung, aus der der bildende Wind kommt.

Forsyth beschreibt die Bogendünen aus der Gegend von Kaschgar, Loczy [4]) von Fu-ye-ye in der Wüste Gobi, Gutbier [5]) aus der Dresdener Haide, und Sokolow giebt in seinem Dünenwerk eine geradezu überraschend grosse Reihe von Autoren an, die Bogendünen aus der Sahara, Centralasien, der Mongolei, Beludjistan, Nordindien und Nordamerika beschreiben. Rolland betont [6]), dass die Urdünen der Sahara herzförmige Gestalt haben, und ich finde mich in Uebereinstimmung mit v. Middendorf, Sokolow, Muschketow, Bogdanowitsch, Kaschgarin und anderen Forschern, wenn ich betone: Die Bogendüne ist der normale Typus eines auf freier Fläche entstehenden Sandberges, sie muss überall entstehen, wo sich windgetriebener Sand anhäuft, und alle übrigen Dünenformen müssen prinzipiell von der Bogendüne abgeleitet werden.

Wenn wir die Bogendüne für die normale Sandanhäufung halten und die langgestreckte Dünenkette davon ableiten, so muss die letztere noch Spuren ihrer Zusammensetzung erkennen lassen. Sokolow bietet in seinem Dünenbuch hierfür ausgezeichnete Beispiele: Der Runde Berg und der Schwarze Berg an der Kurischen Nehrung, die Dünen an der Narvabucht haben alle Eigenschaften von Bogendünen. Ich selbst erinnere mich mancher Sandformen in den Dünen

---

[1]) Blunt, A Pilgrimage to Nedg. II. S. 242.

[2]) Euting, Verh. des Vereins für Erdkunde. Berlin. 1886. S. 267.

[3]) Nachtigal, Sahara und Sudan. II. S. 68.

[4]) Loczy, Reise des Grafen Bela Széchenyi in Ostasien 1877—80. III. Geologische Beobachtungen. S. 506.

[5]) v. Gutbier, Die Sandformen der Dresdener Heide. S. 19, 27.

[6]) Rolland, Geologie du Sahara algérienne. Taf. XXIII. Fig. 5.

von Norderney und der Kurischen Nehrung, die mir früher unverständlich geblieben waren, die ich aber jetzt auch für verwischte Bogendünen halten möchte.[1]) Wunderbar sind die Bilder, die das Sandmeer der Karakum bei der Fahrt längs der transcaspischen Bahn bietet, die, 200 km lang, nur durch Dünen gelegt wurde. Am Rand des Sandgebietes herrschen die Einzelbarchane (s. Bild 46) vor. Je mehr man aber in die innere Region der Sandwüste eindringt, desto zahlreicher werden die reihenförmig verschmolzenen Dünenkämme. Zwei, sechs, zehn Bogendünen haben sich seitlich aneinandergelegt, nur bei gewisser schräger Beleuchtung erkennt man an dem wellenförmig gebuchteten Dünenkamm die Form der einzelnen Barchane wieder (s. Bild 41, 42, 43). Der Vorgang dieser Verschmelzung würde ohne Zweifel auch in der Karakum viel weiter vorgeschritten sein, wenn nicht in jedem Jahre zwei Windrichtungen einander ablösten. Während des Sommers weht ein Nordwind, während des Winters kommt der Wind von Süden, aber er trifft nicht genau parallel auf die frühere Windrichtung, sondern mit einer mittleren Ablenkung von 10°. Dadurch werden in jedem Jahre die gebildeten Barchanreihen wieder zerschnitten und in Einzeldünen aufgelöst, und es kann nicht zur Bildung langgestreckter Dünenkämme kommen.

Ganz ähnlich scheinen die Windverhältnisse in Centralarabien zu sein, wo ebenfalls ein grosses Sandgebiet des Nefud nur aus Bogendünen besteht, während allem Anschein nach in der libyschen Wüste die Bogendünen ganz aufgingen in den langgestreckten hohen Dünenkämmen, wie sie Rohlfs und von Zittel beschrieben haben.

Es ist nach dem Gesagten wohl auch leicht verständlich, warum an der Meeresküste die Bogendüne nur selten rein beobachtet werden kann. Hier geschieht die Sandzufuhr längs des geradlinigen Küstensaumes, und das Wechselspiel von Land- und Seewind vollzieht sich ebenfalls in geradliniger Erstreckung. Kein Wunder, dass hierbei leichter langgestreckte Barchanreihen mit wellig gebogenem Kamm, als isolierte Bogendünen entstehen.

Die Flora der wandernden Dünen ist überaus arm. »Der Sand[2]) beginnt am Rande der Sandwüste bei Kasandjik mit mehreren Wällen, bewachsen mit locker verteilten Tamarix, in deren Nähe Iris caucasica und der schöne Eremurus Olgae blühen, ebenso die Rhabarberstauden, deren grosse Blätter flach auf dem Sande ausgebreitet sind, und die duftende grossblumige Malcolmia Bungei. Die trennenden Thalsohlen zwischen den Sandketten sind nur schmal, etwas feucht und besser bewachsen, nicht selten ganz lichtgrün von Poa.« Die folgenden Dünenkämme werden höher und die Vegetation immer geringer und zuletzt (s. Bild 43) sieht man nur noch die schwächlichen Büschel von Sandhafer und von Aristida pungens aus dem gelben Sandmeer auftauchen. Vereinzelte Ammo-

[1]) Vergl. Handbuch des Deutschen Dünenbaues. Abbildungen 35, 38, 41, 43, 76, 80.

[2]) Radde und Walter, Transcaspien und Nordchorassan. Pet. Erg.-Heft 126, S. 74.

dendren überragen die Dünen, und nur in den tiefen Mulden zwischen den Barchanen (s. Bild 41) findet man grünende Vegetation. Hier wird auch sofort die Fauna reicher. Vögel huschen durch Tamariskengebüsche, und über den Sand eilen zierliche Eidechsen.

Reichlicher bewachsen sind ruhende Dünen, und auf einer Exkursion nach dem Sandgebiet bei Perewal musste ich eine etwa 500 m breite Zone solcher festgelegter Dünen überschreiten. Kurze Stämme von Ephedra, knorrige Saxaulgebüsche wuchsen ziemlich reichlich, Tamarix bildete kleine Hecken. Ein dichter Filz von Graswurzeln überzog die flachgerundeten Dünen. 10 m lange Wurzeln verschiedener Pflanzen überspannten die Hügel wie ein riesiges Netzwerk und gaben dem Sande einen gewissen Halt. Fährten und Spuren von allerlei Tieren sprachen dafür, dass während der Nacht eine reiche Fauna aus den vielen Schlupflöchern hervorkommt, die man überall bemerkt.

»Rollende Ateuchus ziehen, wie Walter beobachtete, mit ihren Eikugeln breite ununterbrochene Fährten, seitlich davon sieht man die Schrammen der letzten zwei Läufe. Trigonoscelis grandis zeichnet auf seinem Weg links und rechts in Zollbreite von einander stets Komma-Schrammen, Spermophilus leptodactylus hinterlässt deutliche Zehen- und Ballenabdrücke, gräbt die weissen Tulpen in Menge aus und macht dabei eine 2—4 Zoll tiefe enge Grube. Eremias intermedia bildet eine regelmässig wellenförmig geschlängelte Linie und daneben den leichten Abdruck der Zehen.«

Das Sandmeer der Kysylkum ebenso wie die Sandwüste Karakum entspringen, wie wir oben zeigten, aus dem sandhaltigen Schlamm des flachen Ufers eines langen Flusses. Von hier aus wandert der Sand in Gestalt einer breiten Sandwüste nach Südwesten und schreitet mit seinen Ablagerungen wie ein transgredierendes Meer über die horizontal mit Schutt und Thon ausgefüllte Ebene des Wüstengebietes. Wo einst das aralocaspische Binnenmeer und während der Miocänzeit das sarmatische Meer flutete, da bilden sich jetzt äolische Sandsteine und lehren uns einen erdgeschichtlich überaus wichtigen Prozess kennen. Wenn wir uns die bei Baku 113 m über dem Spiegel des Caspi erkennbare einstige Strandlinie des eingedampften Binnenmeeres nach Osten projizieren, so gelangen wir bis in die Nähe des jetzigen Amudarjalaufes. Durch ein Ueberwiegen der Verdunstung über die Niederschläge schrumpfte dieses Seebecken ein, und seither wälzte sich die Sandformation darüber hinweg. Der eingetrocknete Schlammboden und die auf demselben übrig gebliebenen Salzseen wurden vom Wüstensand überlagert, und wenn noch jetzt an grösseren Depressionsgebieten innerhalb der Sandwüste beständig Salz und Gyps effloresciert, so stammen diese Salze jedenfalls von solchen übersandeten Pfannen.

Der Dünensand ist durch Windselektion aus einem thonhaltigen und sandigen Verwitterungsgrus entstanden, und wenn auch die Hauptmenge der thonigen Verunreinigungen daraus entfernt sind, so ist doch immer noch eine gewisse Menge Thonstaub in dem Dünensand enthalten, der durch winterliche

Schnee- und Regenfälle zusammengeschwemmt und hierbei als thonige Zwischenschicht dem Sande eingeschaltet wird. Zwei Formen sind es besonders, unter denen solche Thonmengen oberflächlich bemerkbar werden.

Fast alle Vertiefungen im Sandmeer, die langgestreckten, thalähnlichen Schori der Turkmenen, ebenso wie die breiten Flächen der Takyrböden sind mit einer Thonschicht überzogen, die, hart wie eine Tenne und in der Regel von Trockenrissen polygonal durchschnitten, ein völlig horizontales Parkett bildet. Ist die Thonschicht nur 1—2 cm mächtig, dann krümmen sich die eintrocknenden Platten wie Hobelspäne zusammen (s. Bild 47) und werden leicht ein Spiel des Windes, der sie zwischen den Sanddünen dahintreibt und in den Sand einbettet. Wird dann im Winter der Sand feucht, dann sinkt die Thonrolle erweicht zusammen und erscheint als breitgedrückte Thongalle dem Sande eingeschaltet.

Wird aber eine mit Thonschlamm bedeckte Vertiefung vor der vollständigen Austrocknung von der wandernden Düne überschritten, dann erscheint die Sandablagerung durch eine völlig horizontale, aber bald auskeilende Thonzwischenschicht abgeteilt. Ist der Abhang einer Düne thonreich, und hat vielleicht ein, längere Zeit hindurch wehender, schwacher Wind nur Staub, aber keinen Sand zu tragen vermocht, dann kann sich die Oberfläche des Sandberges mit einem Thonpanzer umgeben, der als diagonalgeschichtete Absonderungsfläche später auf dem Profil durch das Sandlager erscheint. Diese zuerst aus Ferghana von v. Middendorf beschriebene Erscheinung ist in der Karakum ungemein häufig zu beobachten, und wenn man sein Augenmerk darauf richtet, so erscheinen nicht nur wandernde Dünen gelegentlich von steil stehenden Thonhäuten durchzogen, sondern nicht minder häufig beobachtet man ebene Flächen zwischen den Barchanen, aus denen 10—15 m lange parallele »Thongänge«, wenn ich so sagen darf, um 1 cm herausragen; dass es sich hierbei um die stehengebliebene Basis einer diagonal geschichteten Düne handelt, deren Kamm weitergeschritten ist, lässt sich ohne weiteres erkennen.

Ueber die Struktur des thonfreien Sandes habe ich mich an künstlich geschaffenen Aufschlüssen orientiert, ausserdem standen mir die von russischen Ingenieuren bei Brunnengrabungen gewonnenen Erfahrungen zur Verfügung. Danach fehlt den Sanden der Wüstendünen in der Regel eine feinere Horizontal-Schichtung, sofern diese nicht durch die soeben besprochenen Thonschichten bedingt ist. Ein von mir genau untersuchtes Sandprofil von 3 m Mächtigkeit nahe dem Bahnhof Djebel zeigte von oben her: cm 50 ungeschichteten Sand, dann 30 cm einer thonreichen feingeschichteten Sandablagerung, dann folgte über 1 m Sand ohne irgendwelche Gliederung. Südlich von Djebel bei Mullahkari wurde ein Brunnen abgeteuft, der bis 12 m Tiefe reinen Sand ergab, dann folgten über 70 m abwechselnd Sand- und Thonschichten. Bei Usunada aber ergab eine Brunnengrabung bis 65 m ausschliesslich ungeschichteten gelben Dünensand. Wenn man erwägt, dass in beiden Fällen die Schächte in einer

Vertiefung mitten zwischen 15 m hohen Sanddünen angesetzt wurden, so erhalten diese Profile ein erhöhtes Interesse.

Das einschrumpfende aralocaspische Meer hinterliess auf dem trockengelegten Seeboden eine Anzahl von flachen Wassertümpeln, erfüllt mit einer an Konzentration immer zunehmenden Salzsole. Buchten des sich verkleinernden Binnensees mussten durch Nehrungen und Barren abgetrennt werden, so wie sich jetzt noch am Ostufer des Caspi der Karabugas abgliedert. Indem nun der Dünensand transgredierend über den einstigen Seeboden hinwegschritt, versandeten die eindampfenden Salzseen und mussten zwischen dem hangenden äolischen Sand und den liegenden Seethonen einen Horizont von Salz und Gypslagern bilden. Wir haben diesen Vorgang noch besonders zu schildern und wollen hier nur eine eigentümliche Folge desselben an der Oberfläche des Dünengebietes beschreiben: Nach den Untersuchungen vom Ingenieur A. Palezky durchschneidet die transcaspische Bahn zwischen Peski und Karaulkuju eine Depression im Sandmeer von elliptischem Umriss, 100 km lang und 30 km breit; östlich und westlich davon folgt dann noch eine langgestreckte Vertiefung, jede etwa 150 km lang und 10 km breit.

Im Gebiet dieser Vertiefungen wachsen eigentümliche sandgespickte Gypskrystalle überall im Sandboden und bilden sich wieder aufs neue, wenn man den Boden von ihnen befreit hat. Der oben gelbe Dünensand wird nach unten graugelb, dann graufarbig, und in einer Tiefe von 20 cm treten die ersten Gypse auf. Anfangs vereinzelt und klein, nehmen sie nach unten an Grösse und Menge zu. In einem Nest von gypshaltigem Sand steckt ein Gypskrystall, völlig durchsetzt mit Sandkörnern, aber von deutlich stereometrischem Umriss. Durch Bürsten kann man die umhüllende Sandmasse entfernen, und solche freigelegte Krystalle (s. Bild 49) und Krystallaggregate sieht man als Kuriosität auf vielen Bahnhöfen längs der transcaspischen Bahn. Auf der Station Repetek werden sie zum Verkauf angeboten, im Museum von Samarkand sah ich eine Krystallgruppe von etwa 80 cm Durchmesser. Da solche Gypse im Boden dem Pflanzenwuchs schädlich sind und die Wüstenpflanzen, die sonst 1 m hoch werden, über Gypsboden nur 20 cm wachsen, liess Ingenieur Palezky bei der Anlage eines Kulturgartens für Wüstenpflanzen eine 2200 qm grosse Fläche von allen Gypsen



49. Recenter sandhaltiger Gypskrystall aus den Dünen der Karakum.

reinigen. Aber schon nach einem Jahre waren neue Krystalle im Boden gewachsen. Immer aufs neue dringt kapillar die Gypslösung empor und bildet immer wieder Gypskrystalle im Dünensand. Auf umstehender Figur ist die diagonale Schichtung des Dünensandes sowie ein in den Krystall eingeschlossenes Steinchen deutlich zu erkennen.

Fassen wir die geschilderten Thatsachen zusammen, so müssen wir besonders auf zwei Erscheinungen das grösste Gewicht legen: Erstens auf die schon eingangs begründete weite Verbreitung des Sandes innerhalb der Wüste. Man findet freilich oftmals die Ansicht, dass alle Wüsten sandbedeckt seien, und dass man nur eine sandbedeckte vegetationslose Ebene als Wüste bezeichnen dürfe. Demgegenüber haben wir die Felsenwüste, die Kieswüste und die Thonwüste schon ausführlich geschildert. Aber Wüstenklima und Sandbildung stehen allerdings in sehr engem Zusammenhang, und keine andere Region der heutigen Erdoberfläche kann in Frage kommen, wenn wir nach Vergleichsobjekten für die fossilen Sandsteinlager ohne marine Reste suchen. Gelber, roter und weisser Dünensand bedeckt in den Wüsten so ungeheuere Flächen, ist in solcher Mächtigkeit aufgeschüttet und zeigt so grosse lithologische Uebereinstimmung mit jenen Sandsteinen, dass nur ein einziger logischer Schluss daraus gezogen werden kann. Dieser Schluss ist umso zwingender, als am Boden der Seen und des Meeres nirgends thonfreier Sand zur Ablagerung gelangt.

Noch viel wichtiger erscheint mir aber vom geologischen Standpunkte das Wandern dieser Wüstensande. Die transgredierende Lagerung vieler fossilleerer Sandsteine ist seit langem bekannt. 200 m bunte Sandsteine liegen zwischen dem marinen Zechstein und dem marinen Röth. 100 m Sandsteine liegen zwischen dem marinen oberen Muschelkalk und dem marinen Lias. Wären sie am Grunde eines Meeres gebildet worden, so müssten sie marine Fossilien enthalten, aber ihre Mächtigkeit scheint wiederum nur verständlich zu sein unter der Annahme eines vorschreitenden Meeresstrandes. Demgegenüber muss ich hier noch einmal auf die Transgression der Wüstensande hinweisen. Wie das Sandmeer der Karakum in jedem Jahre nach SW. wandert, so wird jede Wüste, innerhalb deren oder an deren Rand irgendwo eine Region der Sandbildung sich befindet, von diesem Orte aus mit einer Sanddecke transgredierend überzogen, und dieser Prozess muss Sandschicht über Sandschicht häufen, so lange die Sandquelle thätig ist und so lange das Wüstenklima daselbst herrscht. Genau wie ein Meer mit seinen Litoralgebilden über einen abradierten Kontinent hinwegschreitet, so schreitet eine transgredierende Sandbildung über die trockene Wüste hinweg und im Profil der Erdschichten sehen wir mächtige Konglomerate und Sandsteine diskordant über älteren, denudierten Gesteinen.

12. Staub und Löss.

Während der hochangeschwollene Gewitterbach Steinblöcke, Kiesel, Sand und Schlamm dahinwälzt und diese verschieden schweren Elemente nur im Laufe eines langen Weges unvollkommen sortiert, so dass der reinste Flusssand noch vereinzelte Gerölle und grosse Mengen schlammiger Teilchen enthält, besitzt der Wind eine ungemein starke Saigerungskraft. Steine lässt er liegen, Sand bewegt er in langsamen Wolken, aber allen Staub und alle feinsten Gesteinssplitter hebt er hoch in die Luft. Diese »Lufttrübe« schwebt tagelang in den höheren Luftschichten und sinkt erst ganz allmählich zu Boden oder wird durch Regenwasser herabgeschwemmt.

Wie schon A. von Humboldt hervorgehoben hat, ist der Mangel einer Decke von Verwitterungsboden charakteristisch für alle Wüsten. Aber nicht ein ehemaliges Meer, wie Humboldt meinte, sondern der Wind ist die Ursache dieser auffallenden Erscheinung. Die physikalische und chemische Verwitterung ist in der Wüste überaus kräftig; kein Felsen kann durch die Abkühlung gespalten werden, ohne dass gleichzeitig eine grosse Menge feiner Gesteinssplitter entstehen. Ueberall bohren verwitternde Kräfte an allen Gesteinen, Granit zerfällt zu grobem Grus, efflorescierendes Salz hebt zarte Rinden ab, in Höhlungen und Klüften nagt chemische Verwitterung. So müsste die Wüste eigentlich überall mit einer dicken Schicht von Verwitterungsschutt bedeckt sein, und überall müssten staubartige Teile aufgehäuft werden.

Aber gerade das Gegenteil ist der Fall. Der Wüstenboden ist staubfrei, die Wüstenfelsen sind rein und frisch, die Thäler erscheinen wie ausgekehrt, die Felsenflächen wie abgewaschen. Zwischen grobem Schutt fehlt das verbindende Thoncement, der Sand der Dünen ist oft thonfrei, und die unendliche Fläche der Hamada ohne jede Spur von verwittertem Material. Man kann es wohl verstehen, wie gar viele Beobachter unter dem Einfluss solcher Thatsachen zu der Vorstellung kamen, dass die Verwitterung in der Wüste ruhe.

Unsere Untersuchungen haben dagegen gelehrt, dass es kaum ein zweites Klimagebiet giebt, wo die Verwitterung so intensive und gewaltsame Wirkungen hervorruft. Gesteinssplitter entstehen überall, tags und nachts, und wenn die Wüste trotzdem so staubfrei ist, so liegt es nur daran, dass Tag und Nacht

eine Transportkraft thätig ist, die gerade solche feine Fragmente leicht transportieren kann.

Wie eine schwere Oelschicht ruht die erwärmte unterste Schicht der Atmosphäre auf dem glühenden Felsboden. Und da sich bekanntlich die Luft schwer mischt, so kann, je nach der Stärke der Sonnenbestrahlung, eine mehr oder weniger dicke, aufgelockerte, heisse Luftbank unter den schweren Massen der oberen Luftschichten lagern, ohne dass ein Ausgleich stattfindet. Befindet sich das Auge des Beobachters oberhalb der trennenden Grenzschicht, dann spiegeln sich alle Gegenstände fern und nah in derselben, und es entsteht das Phänomen der Fata morgana. Ueberall sieht man dann glitzernde Spiegelflächen, und jeder Stein, jeder Hügel spiegelt sich in der fibrierenden Luft. Aber immer dicker wird die erwärmte Luftschicht, und dann ist der Reisende unterhalb der Trennungsebene. In diesem Fall giebt es wieder seltsame Brechungserscheinungen und ferne Oasen, phantastische Berge jenseits des Horizontes erscheinen in der Luft.

Der Auftrieb der lockeren heissen Luft ist endlich so stark, dass das labile Gleichgewicht gestört wird, und dass in wandungslosen Kanälen die heisse Luft nach oben strömt. Nach bekannten physikalischen Gesetzen schraubt sich die Luftsäule spiralig empor, und indem sie alle leichten Bestandteile vom Boden aufhebt, entstehen die charakteristischen Tromben, die man wohl an jedem Nachmittag wie ferne Lagerfeuer in der Wüste emporwirbeln sieht. Bald scheinen sie fest zu stehen, bald schreiten sie wie Rauchsäulen über das Land, und Moses hat wohl zuerst die Staubsäule einer Wüstentrombe als führendes Zeichen seiner Karawane beschrieben.

Es ist unmöglich, Zahlen über die Menge des emporgewirbelten Staubes zu geben, ich kann nur sagen, dass die Staubtromben eine alltägliche Erscheinung in der Wüste sind, und dass Pictet[1]) zeigen konnte, wie eine Trombe am 2. Juni 1873 bei Kairo von früh 10 Uhr bis nachmittags 3 Uhr beständig Staub und Sand auf 1000 m Höhe emporhob.

Eine viel wichtigere Wirkung hat die heisse Bodenluft in der Wüste, wenn nachmittags ein energischer Wind einsetzt. Ich befand mich am 24. September 1897 bei Perewal an der transcaspischen Bahn und wanderte nach den Sanddünen, mit denen die Karakum durch die Balchanpforte nach W. dringt. Ein heisser Wind von NO. war nicht stark genug, um den Dünensand zu bewegen, aber draussen auf der Takyrebene, die sich zwischen dem steilen Gebirge und dem Sandgebiet langsam absinkend erstreckt, fand er leichtes Material in Menge. Die untere heisse Luftschicht wirbelte in vorwärtsdrängenden Wolken, wie sich an den dahinter liegenden Bergen deutlich abschätzen liess, wohl 300 m hoch empor und führte so gewaltige Mengen von Staub in die höheren Luftschichten, dass die malerische Kette des kleinen Balchan bald

[1]) Archiv des Sc. Phys. et Nat. 1879. S. 37.

ganz im Nebel verschwand. Ich konnte mich angesichts dieser wie lodernde Flammen dahinwandernden Staubwolken leicht überzeugen, dass bei einem horizontal wehenden Wind die heissen unteren Luftschichten in eine schräg aufsteigende Bewegung versetzt werden und riesige Mengen von Staub in höhere Luftregionen verfrachten.

Reizend sieht es aus, wenn ein heftiger Wind an hoch aufragenden Felsen oder Bergwänden vorbeiblasend zierliche Staubwolken wie durch Zauberkraft aus dem Gestein herauslockt. Dann flattert ein zarter Schleier in die Luft, dreht sich in wirbelnden Bewegungen durch den klaren Aether und löst sich wie ein Nebelwölkchen bald völlig auf. Ich beobachtete diese Erscheinung an den Felswänden, die die Bucht von Krasnowodsk umgeben, in besonders deutlicher und schöner Weise.

Welche Staubmengen ein einziger Samum transportiert, konnte ich am 19. April 1887 am Sinai beobachten. Ich ritt über die Ebene von Burdess und konnte auf 50 km Entfernung jede Felsenzacke und jede Schicht des Sinaigebirges erkennen. Da wälzte sich eine 300 m hohe Nebelmasse auf mich zu, die zusehends einen Berg nach dem andern verhüllte; nach drei Stunden heftigsten Sandtreibens liess der Sturm nach, die Sandmassen kamen zu Ruhe, aber den ganzen Nachmittag hindurch war die Luft verschleiert und augenscheinlich ganz mit feinstem Staub erfüllt.

In dem wasserarmen Wüstenklima sind zwar Wolken aus Wasserdampf eine überaus seltene, nur in bestimmten Jahreszeiten häufigere Erscheinung, aber um so häufiger sind Staubnebel und Staubwolken, die am fernen Horizont wie eine lange hohe Stratuswolke lagern. Ja, die eigentümliche, wie mit deckendem Weiss untermischte Farbe des Wüstenhimmels, der selbst durch sein diffuses Licht so überaus blendend wirkt, hängt sicherlich mit dem Reichtum der Wüstenluft an feinstem Staub zusammen.

Am leichtesten gewinnt man eine Schätzung über die Menge des Staubes, der innerhalb der Wüste abgeblasen wird, wenn man sich an die Bildung des Wüstensandes erinnert, jener für die Wüste so typischen Erscheinung.

Wie eine Schneedecke liegt der gelbe Quarzsand (s. Bild 8) zwischen den dunkelroten Granitklippen der südlichen Sinaiwüste, und deutlich kann man überall erkennen, dass er aus zerbröckelndem Granit entstanden ist. Nun mag in diesem Intrusivgestein etwa $^1/_4$ Volumen Quarz auf $^3/_4$ Raumteile Feldspath und Hornblende kommen. Damit eine nur 10 m hohe und 20 m breite Düne entsteht, müssen vielleicht 5000 cbm feinster Partikelchen von Feldspath und Hornblende durch den Wind davongetragen werden. Die ungeheueren Sandfelder zwischen dem Granit sind also ein sprechender Beweis für die Stärke der Staubentführung.

Der Oxusschlamm ist ein sandiges Sediment, das aber so grosse Mengen von schlammigen Bestandteilen enthält, dass der Sand vollkommen zurücktritt. Auf dem linken Ufer des Flusses bemerken wir eine mehrere Kilometer breite

Ueberschwemmungszone, teilweise von verödeten Flussarmen durchzogen und mit Schilf bestanden, teilweise einen allmählichen Uebergang zur Sandwüste Karakum bildend. Graue Dünen erheben sich hier und da aus dem eingetrockneten Schlammboden und verknüpfen ihn genetisch mit der 300 km breiten Sandwüste, die von hier bis zur Balchanpforte, in einer Längenerstreckung von 800 km, graugelbe Dünenkämme nach SW. wandern lässt. Die durchschnittlich 10 m hohen Barchane, die man längs der transcaspischen Bahn zwischen Merw und Tschardschui sieht, erheben sich auf einem Sandmeer, das nach angestellten Brunnenbohrungen mindestens 30—50 m tief ist, wahrscheinlich aber eine viel grössere Mächtigkeit hat, da man gelben Dünensand noch 45 m unter dem Wasserspiegel des Amudarja fand. Die 240 000 qkm grosse Sandwüste würde, bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 30 m, doch ein Sand-Volumen von 800 cbkm darstellen. Da nun aber die sandigen Bestandteile des Amudarjaschlammes kaum $^1/_3$ des Schlamm-Volumens betragen, so muss also eine mindestens zweimal so grosse Masse von Staub durch den Wind herausgeblasen worden sein. Solche Berechnungen liessen sich für alle Sandwüsten anstellen und ergeben nur das eine Resultat, dass innerhalb der Wüste ganz unglaubliche Massen von Staub aufgehoben und entführt werden.

Das Lössproblem ist ein Deflationsproblem, und v. Richthofens Lösstheorie führt notwendig zu den Felsen der Wüste, von denen der Wind das staubförmige Verwitterungsprodukt entführte, zu den Sanddünen der Wüste, die ein entstaubtes Material darstellen, zu den Kiesflächen des Sserir, der so ganz staubfrei geworden ist.

Von Tillo hat die Areale der Alluvionen in den einzelnen Räumen der Erdoberfläche berechnet und dabei für Asien folgende Werte gewonnen:

beweglicher Sand	8 %
Steppenboden	20 %
Löss	3 %
	31 %.

Die Alluvionen der asiatischen Ströme und Seen betragen 3 %, und wenn wir auch noch denselben Betrag für das Areal der Delta asiatischer Flüsse hinzurechnen, so ergiebt sich doch aus dieser Zusammenstellung, dass fünfmal so viel Fläche mit äolischen Ablagerungen bedeckt ist, wie mit den Sedimenten, welche durch die Erosion des fliessenden Wassers entstanden. Selbst wenn wir zugeben, dass manche Lössgebiete Centralasiens älterer Entstehung sind, so ergiebt sich doch aus dem Gesagten ohne weiteres der Schluss, dass die Stärke äolischer Abtragung der Kraft der Erosion mindestens ebenbürtig ist.

Was F. von Richthofen in seinem bekannten Werke über die Lössbildung gesagt hat, was Loczy später in China beobachtete, kann ich hier nur weiter ausführen, indem ich schildere, wo und unter welchen Umständen der Staub zu Ruhe kommt: Ganz ähnlich, wie das Aequatorialgebiet der Atmosphäre durch die starke Insolation zu sehr heftigen Luftbewegungen veranlasst wird,

so ist jede Wüste ein Sturmzentrum. Man kann sich keine Vorstellung machen von der Heftigkeit und Häufigkeit der Wüstenstürme, um so weniger, als die meisten derselben bei hellem Sonnenschein und klarem Wetter auftreten und nur ganz ausnahmsweise von Niederschlägen begleitet sind. Wenn unter dem Einfluss solcher Winde selbst die Dünensande in Bewegung geraten und transgredierend über das Land hinwegschreiten, so ist es leicht verständlich, dass feinster Staub innerhalb der Wüste nur unter ganz besonderen Umständen zu Ruhe kommt. Feuchter Boden ist dem Winde gegenüber nicht nur unangreifbar, sondern auch geeignet, Staub aus der Luft an sich zu ziehen und festzuhalten. Alle salzreichen und dadurch hygroskopisch feuchten Takyrböden, Sebchaböden und Salzsümpfe wachsen also innerhalb der Wüste durch Staubaufnahme und bilden, wie wir früher geschildert haben, den Seelöss, der durch seine undeutliche oder ausgesprochene Schichtung von den eigentlichen äolischen Lössarten oftmals schwer zu unterscheiden ist. Dieser Vorgang ist von der grössten geologischen Bedeutung für die Einhüllung leichtlöslicher Salzlager in wasserundurchlässigen Thon und wird uns in einem folgenden Abschnitt noch einmal beschäftigen.

Da nun feuchter Boden dem Winde gegenüber geschützt ist, so schliessen sich Wüste und Staub gegenseitig aus, denn aller Staub, der in der Wüste gebildet wird, muss so lange wandern und weitergetrieben werden, als er sich in dem regenlosen Gebiete befindet. So wird der Staub immer wieder aufgewirbelt, nirgends findet er Ruhe, jeder Windstoss bewegt ihn, und endlich gelangt er an den Rand der Wüste. Alle Wüsten sind umgeben entweder von den grossen Wasserflächen des Ozeans oder von einem Steppenlande. Gelangen die stauberfüllten Luftströme aus dem afrikanischen Wüstenlande nach dem Atlantischen Ozean oder aus Arabien nach dem Roten Meer, so bilden sie die bekannten Staubnebel, die für die Schiffahrt oft ebenso gefährlich werden, wie die Wassernebel auf den Bänken von Neufundland. Der sogenannte Passatstaub ist eine ähnliche Erscheinung; 1863 fiel auf den Canaren ein Staubregen, dessen Volumen v. Fritsch[1]) auf 3 944 000 cbm schätzt.

Der ins Meer fallende Staub wird zum Teil gelöst und dient den Radiolarien und Diatomeen zur chemischen Ausscheidung ihrer Kieselhülle, zum Teil fällt er in die Tiefen des Ozeans hinab und vermehrt die Menge der Tiefseeabsätze um einen geringen Betrag.

Viel häufiger aber grenzt an die Wüste ein Steppenland, und hier herrschen klimatische Bedingungen, die den Staub am Weiterwandern hindern und festhalten. In der Steppe ist

1. die Insolation geringer und damit die Windbildung vermindert,
2. befeuchten häufigere Niederschläge den Boden,
3. schützt eine reichlichere Vegetation die Erde.

---

[1]) Allgemeine Geologie. S. 212.

Alle diese Umstände wirken zusammen, um den Staub aus der Luft niederzuschlagen und am Boden zu fixieren.

Wenn der Samum den Fuss der Gebirge erreicht, oder wenn seine Kraft am Rande der Wüste erlahmt, dann scheint unter dem Einfluss der Schwere schon ein Teil des Staubes herabzusinken. Virlet d'Aoust ist meines Wissens der Erste[1]) gewesen, der die geologische Bedeutung des aus der Luft herabfallenden Staubes erkannte und in Mexiko zuerst beobachtete, was F. von Richthofen dann in so umfassender Weise ausgeführt hat.

In jedem Zimmer, ja in den verschlossenen Kästen des Steinschrankes sinken beständig Staubteilchen zu Boden und häufen sich binnen kurzer Zeit zu einer messbaren Staubschicht an, die vielfach so fest an den rauhen Objekten haftet, dass sie nur schwer zu entfernen ist. So lange die heisse Wüstensonne den Erdboden erwärmt, die darüberstehende Luftschicht auflockert und nach oben treibt, folgt der mitgerissene Staub dieser Bewegung. Während der Nacht behält die Ebene noch einige Zeit ihre hohe Temperatur. Die Gebirge aber, die sie umrahmen, strahlen ihre Wärme aus, kühlen sich ab, und ein Strom schwerer kalter Luft strömt an den Abhängen herab nach den Depressionen. Wenn die Luft durch keinen Windstoss gestört wird, dann sinken grosse Mengen von Staub zum Erdboden hernieder. Leider dürfte es schwierig sein die Menge dieses zarten Staubfalles zu bestimmen, allein ich hatte bei Samarkand Gelegenheit, mich davon zu überzeugen, dass während der Nacht eine merkliche Klärung der stauberfüllten Luft eingetreten war. Nachdem ich eines Abends bei Sonnenuntergang von der 30 m hohen Säule an der Medresse Ulug Beg kaum die schwache Bergkontur des hohen Turkestangebirges erkannt hatte, befand ich mich am nächsten Morgen schon bei Tagesgrauen wieder auf meinem Beobachtungsposten. Eben stieg am Osthimmel die Aureole des erwachenden Morgens empor, und langsam verlosch der Glanz der letzten Sterne. Als ich meine Augen nach Südosten wandte, wo ich am gestrigen Abend nur eine kaum bemerkbare Silhouette mehr erraten, als gesehen hatte, da sah ich durch einen dünnen Staubschleier nur wenig verhüllt die schneeigen Gipfel des Gebirges, die, trotzig und scharfgezeichnet, wie die Kurfirsten am Walensee, das herrliche Städtebild überragten.

Die reichlicheren Niederschläge des Steppenlandes spielen jedenfalls auch eine grosse Rolle beim Absatz des Staubes. Bekanntlich bildet sich jedes Regentröpfchen um ein feines Staubkorn; die stauberfüllte Wüstenluft wird aber geradezu gewaschen, wenn ein Regen herniederstürzt. Loczy[2]) schildert, wie am Kukunor die Luft so undurchsichtig war, dass die Umrisse aller Gegenstände auf hundert Schritt verschwammen. Ein leichter Regenguss schlug den Staub

---

[1]) Bulletin de la Soc. Geol. de France 1857. T. XV. S. 129.

[2]) Die Beschreibung der geol. Beob. und deren Resultate der Reise des Grafen Bela Széchényi in Ostasien. 1893. S. 593.

nieder und reinigte die Luft so sehr, dass man am nächsten Morgen die Alpen des Kukunor erblicken konnte.

Der Regen ist es auch, der den an den Felsen haftenden Staub abwäscht und nach den Depressionen befördert, wo er durch den Wind gleichmässig über die Ebene ausgebreitet wird. Welche grosse Rolle der Regen bei der Ablagerung des »äolisch« gebildeten Lösses spielt, lässt sich am leichtesten aus den Geröllagern erkennen, die dem Löss eingeschaltet sind. Wenn man von der Kosakenstation Kaaka an der transcaspischen Bahn nach Süden gegen das persische Gebirgsland vordringt, so erreicht man bei den Ruinen von Chiviabad den Rand des ebenen Takyrbodens, der, von Kieslagern vielfach überdeckt, durch die Brunnen (Kjarisen) der Kirghisen und tiefe trockene Wasserrisse gut aufgeschlossen ist. Bei Chiviabad durchbricht ein klarer Gebirgsbach die felsigen Bergketten und versiegt dann auf der Ebene. In 20 m hohen Wänden sind prachtvolle Lössprofile aufgeschlossen, an deren Basis 1 m mächtige Zungen von Kalksteingeröll deutlich erkennen lassen, dass dieselben Gewässer bald feinen Lössschlamm, bald groben Kies führten.

Obwohl der Steppenboden nirgends eine geschlossene Pflanzendecke trägt, sondern mit vereinzelt stehenden Grasbüscheln und Sträuchern übersät ist, zwischen denen der nackte Lehmboden zu Tage tritt, so verlangsamen doch die zahllosen blattarmen, harten, elastischen Gewächse die Geschwindigkeit der Luftbewegung in erheblicher Weise. Ein nur schwacher Wind ist im Stande, die weichen Halme einer Waldwiese oder die Aehren eines Kornfeldes in wogende Bewegung zu versetzen. Solch weiche elastische Pflanzenteile fehlen der Wüstenflora. Dornige sperrige Sträucher, harte zähe Halme, dürres ästiges Buschwerk beherrscht den Florencharakter der Steppe und Wüste Sie alle setzen auch dem heftigsten Wind einen sehr kräftigen Widerstand entgegen, und da jeder gebogene Ast einen Kraftverlust für den Wind bedeutet, so entsteht ein ziemlich schroffer Gegensatz zwischen der wenig bewegten untersten Luftschicht und den dahinrasenden Windströmungen oberhalb des Bodens. Alle mitgeführten Staubmassen, die sich in vielen Wirbeln über den Steppenboden wälzen, geraten hierbei zwischen das Geäste der Steppenpflanzen und fallen leicht zu Boden. Dieselben Pflanzen verhindern zugleich, dass der einmal niedergefallene Staub wieder aufgehoben wird, und so wächst die Steppe unaufhörlich durch Auflagerung feinster Staubschichten. Es ist durch F. von Richthofen nachgewiesen worden, welche ungeheuere Verbreitung diese Staublager in Innerasien gewinnen, und wie durch spätere Erosion die ungeschichteten Lössablagerungen in Profilen von grosser Mächtigkeit aufgeschlossen wurden. Bild 45 zeigt uns solche vertikal zerklüftete Lösswände an einer Thalschlucht, welche die transcaspische Bahn östlich von Samarkand überschreitet.

Die südrussischen und turkmenischen Steppen bieten einen überaus lehrreichen Beleg für diese doppelte Eigenschaft des pflanzenbewachsenen Steppenbodens: alle Vertiefungen auszufüllen und den gefallenen Staub festzuhalten.

Tausende kleiner und grosser flacher Hügel bedecken überall die Ebene, und sind unter dem Namen der **Kurgane** (s. Bild 37) wohl bekannt. Welchem Zweck sie dienten, ist noch jetzt eine offene Frage, sicher ist nur, dass sie durch Menschenhand gebildet wurden. Oft nur 3 m im Durchmesser und 1 m hoch, manchmal aber 100 m breit und 30 m hoch erheben sich regellos die seltsamen Hügel, in denen man bei vielen Nachgrabungen nur selten Knochen, Scherben oder Kunstgegenstände gefunden hat. Steppengras und niedrige Kräuter bedecken ihre Oberfläche mit demselben eintönigen Pflanzenkleid, das weithin die Landschaft überzieht.

Nur eins fällt uns an diesen Tausenden von Hügeln auf, die wir auf der Fahrt von Moskau nach Wladikawkas oder von Askabad nach Samarkand beobachten: es fehlt überall die ringförmige Vertiefung, welche der Erdmasse entspricht, die beim Bau der Kurgane ausgehoben und aufgeschüttet wurde. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die Masse der Kurgane aus dem umgebenden Steppenboden ausgehoben wurde, und es ist klar, dass man diesen da ausgrub, wo der Kurgan aufgeworfen wurde — allein jetzt sieht man wohl den Hügel, aber keine Spur von der entsprechenden Grube. Wenn Regen und Wind im Stande waren, diese Vertiefung wieder auszufüllen, warum haben sie nicht auch den weichen Lehmboden des Kurgans wieder abgewaschen und den Hügel völlig eingeebnet?

Ich glaube, dass der Pflanzenteppich dieses widerspruchsvolle Verhalten leicht erklärt. Dieselben Steppenpflanzen, die jedes in die Vertiefung geratene Stäubchen darin festhielten und nach einigen Jahrhunderten die Grube völlig ausfüllten, schützten den Kurgan vor der Abtragung, und indem sie den Lösshügel erhielten, vertilgten sie die Bodensenke im Lössboden.

Mit dem Thonstaub und den feinen Gesteinssplittern bläst der Wind auch allen trockenen Salzstaub aus der Wüste heraus, der irgendwo den Erdboden oder die Felswände bedeckt, und so geraten eine Menge leichtlöslicher Salze in die Lössablagerung hinein. Die grösseren Niederschläge des Steppenlandes, verbunden mit der Durchlässigkeit des Lössbodens, bewirken es, dass diese äolisch transportierten Salzmengen innerhalb der lössbedeckten Böden leicht wandern und sich in den tiefsten Bodensenken anreichern. Da nun das Steppenland entweder der abflusslosen Wüste oder den benachbarten dränierten Landstrecken angehört, so wird ein Teil dieser im Lössboden enthaltenen Salze nach dem Meere getragen, ein anderer Teil aber wandert wieder in die Wüste hinein, wo wir seine weiteren Schicksale noch betrachten werden.

Auf südrussischen Kurganen hat sich 10—15 cm Tschernosjom gebildet, in Singanfu beobachtete Loczy eine 2 m hohe Lössschicht auf 2000 Jahr alten chinesischen Gräbern. Diese Zahlen geben eine Vorstellung von den Zeiträumen, die nötig sind, um 200 m hohe Lösswände zu bilden, und so sehen wir hier die letzte Wirkung einer Kraft, die lange Zeiträume hindurch in der Wüste gewirkt haben muss. Hier liegt die Gesteinsmasse, die einstmals Wüstenthäler

erfüllte, die im Inneren der Säulengänge und der hohlen Blöcke, am Fuss der überhängenden Felsschichten und der Pilzfelsen dereinst geruht hatte, die durch geheimnisvolle Verwitterungskräfte dort gelockert worden war, die der Samum aufhob und eilends davontrug, deren gröbere Bestandteile die Sanddünen in der Wüste bilden, die dann im Schutze rasenbildender Steppengewächse zu Ruhe gelangte. Wenn wir uns im Geiste alle die riesigen Lössmassen der Erde an ihren alten Ursprung versetzt denken, dann können wir Kubikmeilen grosse Thäler und Kessel wieder ausfüllen, und wir stehen voll Bewunderung vor einem Naturprozess, der, flüchtig wie der Wind, unsichtbar wie die Luft, dem forschenden Auge lange verborgen, doch riesengrosse Wirkungen auszuüben im Stande ist.

13. Das Wüstensalz.

Vom Cambrium Indiens und dem amerikanischen Silur bis zum Tertiär Galiziens enthalten alle geologischen Formationen Ablagerungen von Steinsalz, und die Frage nach der Entstehung dieser chemischen Niederschläge ist zu verschiedenen Zeiten in verschiedenem Sinne beantwortet worden. Nachdem man das Salz für einen Absatz des Urmeeres, dann für ein vulkanisches Produkt gehalten hatte, betonte G. Bischof die marine Entstehung desselben, und Ochsenius hat in seiner »Barrenhypothese« die näheren Umstände dieses Prozesses verständlich zu machen gesucht.

Indem wir das Problem der Salzbildung hier von anderen Gesichtspunkten aus behandeln, leitet uns der Gedanke, dass zwischen geologischer Vergangenheit und der recenten Gegenwart mit Rücksicht auf die grossen geologischen Vorgänge, die auf physikalischen, chemischen und klimatologischen Gesetzen beruhen, kein prinzipieller Gegensatz bestehen kann. Nun nimmt man gewöhnlich an, dass alle Salzlager aus dem Meerwasser der jeweiligen geologischen Periode durch direkte Verdampfung entstanden seien. Da dieser Vorgang in allen geologischen Perioden geschah, muss er sich unter natürlichen, leicht wieder auftretenden, klimatischen Umständen abgespielt haben, und da die Salzabsätze in manchen Formationen über eine grosse Fläche als gleichzeitige Facies abgelagert wurden, mussten die Bedingungen der Salzbildung regionale sein. Untersuchen wir aber die heutige Erdoberfläche, so stellt sich die eigentümliche Thatsache heraus, dass weder am Meeresgrund, noch an den Meeresküsten irgendwo grössere Salzlager unter den von Bischof und Ochsenius formulierten Bedingungen in grossen »durch eine Barre abgeschnittenen Küstenbuchten« entstehen. Der von Stübel[1]) beschriebene Salzsee im Krater der Insel Sal auf den Capverden ist zwar 1200 Schritt breit mit einer weissen Salzkruste bedeckt, und ähnliche lokale Bildungen sind von verschiedenen Küsten bekannt, aber diese kleinen Vorkommnisse können doch nicht mit jenen ausgedehnten und mächtigen Salzlagern älterer Erdperioden verglichen werden. Noch nirgends ist es auch gelungen, die mit den fossilen Salzlagern

---

[1]) Stübel, Neues Jahrbuch f. Mineralogie. 1863. S. 563.

in der Regel verbundenen Gypsgesteine als recente marine Sedimente nachzuweisen, und noch weniger hat man beobachtet, dass an irgend einer Küste Abraumsalze gebildet worden seien. Infolgedessen ergiebt sich auf Grund der genannten Hypothese das seltsame Bild, dass in der geologischen Vergangenheit jederzeit am Ufer und am Grunde des Ozeans grosse Salzlager und Gypsablagerungen entstanden seien, während in der geologischen Gegenwart solche Bildungen daselbst nicht entstehen.

Es erscheint daher dringend nötig, entweder nachzuweisen, weshalb dieser Gegensatz zwischen den lithogenetischen Vorgängen in Vorzeit und Gegenwart besteht, oder sich die Frage vorzulegen, ob die recenten Erscheinungen nicht zu einer anderen Anschauung drängen.

Diese letztere Aufgabe haben wir uns hier gestellt und wollen ganz vorurteilsfrei untersuchen, ob es auf der heutigen Erdoberfläche Regionen giebt, in denen Salzablagerungen vom Charakter der fossilen Salzgesteine entstehen, und unter welchen Umständen diese Bildung vor sich geht. Der Vergleich der hierbei gewonnenen Thatsachen mit den lithologischen Eigenschaften fossiler Salzlager kann dann vielleicht zu einer neuen Lösung des vielbesprochenen Problems führen.

Wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, dass grosse Räume der heutigen Erdoberfläche abflusslos sind. Das abflusslose Gebiet deckt sich nicht mit dem der Wüstenregion, denn mit einem gewissen Recht kann man sagen, dass der Nil einen Teil der nordafrikanischen Wüsten entwässert, und auf der anderen Seite ist der grösste Teil von Russland abflusslos, obwohl auf der schwarzen Erde fruchtbare Felder und ausgedehnte Wälder gedeihen. Selbst die Stelle wo ein grösserer Fluss, wie der Murghab, verdampft und seine letzten Wasser im Sande verlaufen, ist eine grünende Oase, und nur die grossen geographischen Zusammenhänge solcher Flusssysteme lassen uns das Wesen der Abflusslosigkeit verstehen.

Ueberall auf der Erdoberfläche sind chemische Prozesse thätig, das harte Gestein zu verwittern, Lösliches zu lösen, chemisch zersetzbare Verbindungen zu trennen. Und das Endprodukt dieser Verwitterungsprozesse besteht aus relativ unlöslichen Stoffen und gelösten Substanzen, die durch Transportkräfte an der Erdoberfläche immer weiter verfrachtet werden.

In einem regenreichen Klima, dessen Niederschläge sich zu dauernden Bächen und Flüssen sammeln, die nach kurzem oder längerem Lauf ins Meer münden, werden alle Lösungen und ebenso ein grosser Teil der ungelösten Bestandteile bis zum Ozean getragen. Die letzteren werden als Delta oder als Kontinentalschlamm abgesetzt, die Lösungen vermischen sich mit den salzreichen Fluten des Weltmeeres. Und da dieses seinen Sättigungsgrad längst nicht erreicht hat und noch weniger in der geologischen Vergangenheit gesättigt war, so kann nirgends ein direkter Niederschlag aus diesen Lösungen unter natürlichen Umständen entstehen. Wenn wir absehen von den chemischen

Umsetzungen, wie sie im marinen Grundwasser erfolgen, von der Bildung der Konkretionen, der Steinkrusten, der Glaukonitsande und der Phillipsitkrystalle im Tiefseethon, so kennt man keine einzige Stelle des Meeresgrundes, wo irgend ein chemischer Niederschlag aus den Lösungen des Seewassers erfolgte.

Ganz anders verhalten sich in dieser Hinsicht die abflusslosen Gebiete. Auch sie sind reich an chemisch löslichen und chemisch zersetzbaren Verbindungen, ja, ihr Gehalt an solchen ist viel bedeutender als der von dränierten Gegenden. Die Abflusslosigkeit hat ihren Grund in dem Ueberwiegen der solaren Verdunstung gegenüber den meteorischen Niederschlägen. Mag der absolute Wert dieser beiden Grössen auch noch so sehr wechseln, mögen die westlichen Abhänge des Ural oder die Urwälder von Masenderan auch noch so regenreich sein — so überwiegt doch in dem Gesamtgebiet, dem diese Wasser zuströmen, die Verdunstung, und während das chemisch reine Wasser verdampft, bleiben die gelösten Verbindungen zurück. Dieselben durchtränken Erdboden und Felswände, krystallisieren auf Spalten und Klüften als schneeweisse faserige Krystalle oder krümelige Körner aus, bedecken mit einem zarten weissen Pulver Felsflächen oder Thonebenen, finden sich in allen Quellen und Seen, machen viele derselben völlig ungeniessbar und werden mit dem Sammelbegriff »Salz« bezeichnet, obwohl schon der Geschmack, mehr noch die chemische Analyse zeigt, dass dieses Wort keineswegs sich deckt mit dem Worte Chlornatrium.

Der von vorwiegender Pflanzenkost sich nährende Mensch bedarf als Zusatz zu seiner Speise eine gewisse Menge von Chlornatrium. Wäre nun das in allen abflusslosen Gebieten weitverbreitete Salz von derselben chemischen Konstitution, so würde man überall dieses Salz gewinnen können. Aber ich begegnete in der so »salzreichen« arabischen Wüste einer Karawane von etwa 30 Beduinen, die mehrere Tage weit geritten waren, um die Salzlokalitäten am Uadi Ssannur aufzusuchen. In manchen Gebieten Nordafrikas steigt die Seltenheit und der Wert des Chlornatriums so sehr, dass es als Kleingeld dient und man von einem reichen Manne sprüchwörtlich sagt: der kann jeden Tag Salz essen. Auf der Ebene von Taltal,[1]) östlich der Provinz Enderta werden die 30 cm langen und 5 cm dicken, etwa 750 gr schweren Salzstücke (Amole) gewonnen, und während hier 80—100 Stück auf einen Maria-Theresienthaler gehen, werden auf dem Salzmarkte in Sokoto 60—80 Stück mit einem Thaler bezahlt, in Gondar kosten 20—30 Stück soviel, in Debra Tabor 15—20; in Fadasi gelten 4 Amole gleich einem Thaler. Das sind sprechende Beweise dafür, dass das Wüstensalz keineswegs immer Chlornatrium ist, sondern der salzartige Verdunstungsrückstand sehr mannigfaltiger Lösungen.

Die Herkunft und Entstehung dieser Salze ist natürlich eine sehr verschiedenartige: Jede vulkanische Eruption ist begleitet von Dämpfen, die eine

[1]) Rohlfs, Peterm. Geogr. Mitteil. 1889. S. 191.

Menge von Substanzen an die Erdoberfläche bringen, ein Teil derselben fällt mit dem Regen hernieder, ein anderer Teil krystallisiert in der erkaltenden Lava aus oder ist fein verteilt zwischen den Aschenbröckchen vulkanischer Tuffe. Diesen vulkanischen Salzen stehen die bei der chemischen Verwitterung gebildeten Salze gegenüber. Jedes verwitternde Mineral zerfällt in unlösliche und lösliche Verbindungen. Während die ersteren als Verwitterungsrückstand übrig bleiben und nur mechanisch weitertransportiert werden können, nimmt das bei der Verwitterung thätige Wasser die löslichen Verbindungen auf, trägt sie als Bach zum Fluss und mischt sie darin mit anderen Lösungen. Viele Gesteine enthalten aber auch direkt im Wasser lösliche Stoffe oder sind ganz aus löslichen Verbindungen aufgebaut. Alle Kalke, Gypse, Salzgesteine werden leicht gelöst und kommen auf diesem Weg in die Bahnen des fliessenden Wassers.

Eine der wichtigsten Quellen löslicher Verbindungen sind jedoch die marin entstandenen Gesteine. Alle marinen Ablagerungen enthalten mehr oder weniger beträchtliche Hohlräume, die während ihrer Bildung am Meeresgrund von Meerwasser erfüllt sind. Man braucht nur das sogenannte Porenvolumen lufttrockener recenter Sedimente zu bestimmen, um die Menge dieser kleinen Hohlräume richtig schätzen zu können. Das Porenvolumen eines organischen Kalksandes aus dem Golfe von Neapel betrug über 35 %. Hilgard bestimmte das Porenvolumen recenter Sedimente des Mississippideltas zu 23—61 %. Nach methodischen Untersuchungen von v. Fodor nimmt das Porenvolumen von grobem Kies zu feinem Sand von 23 bis zu 55 % zu; und wenn wir hören, dass die Lotröhre bei 5500 m im Tiefseeschlamm bis 45 cm tief einsank, so geht daraus hervor, welche Mengen von Seewasser mit dem Tiefseethon während seiner Bildung gemischt werden. Das Seewasser, das zu 30—50 % die Zwischenräume zwischen den klastischen Elementen mariner Sedimente erfüllt, ist eine Salzlösung von 3,5 % Salzgehalt, und eine einfache Rechnung zeigt, dass jedes klastische marine Sediment, so lange es am Meeresgrunde ruht, eine Menge von Seesalz enthält, die man mit 1 % der Gesamtmächtigkeit wohl nicht zu hoch anschlagen dürfte. Wenn wir die Mächtigkeit der Juraformation mit H. Credner auf 1000 m schätzen, so enthielten diese Schichten eine Salzmenge, die im konzentrierten Zustand einem 10 m mächtigen Salzlager auf die ganze Fläche der Verbreitung der Juraformation entsprechen musste, und wenn man das Silur zu 6000 m, das Devon zu 6000 m rechnet, so waren in diesen beiden Formationen 120 m Seesalz fein verteilt enthalten. Mögen diese Zahlen auch nur einen Annäherungswert besitzen, so dürfen wir doch sagen, dass jedes marine Fossil einer bestimmten Menge von Seesalz entspricht, die gleichzeitig mit den Fossilien in die Schichten der Erde eingebettet wurde.

Alle diese verschiedenartigen Salze werden vom Regenwasser gelöst, die Felsen werden ausgelaugt und ein beständiger Strom von überaus schwachen

Salzlösungen rinnt von den Festländern nach dem Meere. Durch ihn werden nach kurzer Zeit die meisten Salze dem Ozean zugeführt, wenn das betreffende Land nach dem Weltmeer einen Abfluss hat. Ganz anders ist das Schicksal dieser verschiedenen Salze in den abflusslosen Regionen. Erstens regnet es hier nur selten, und die geringen, aber meist sehr heftig herniederstürzenden Niederschläge können nicht tief in die Felsen hineindringen. So wird wohl die äusserste Rinde der Gesteine entsalzt, aber im Innern bleiben immer noch beträchtliche Salzmengen zurück, und wenn die befeuchteten Felswände abtrocknen, dann diffundiert das Salz wieder aus der Tiefe empor. Daraus erklärt es sich, dass alle Felsen, die aus einem der vorhin angeführten Gründe überhaupt lösliche Salze enthalten oder solche bilden, in einem niederschlagsarmen Lande unverhältnismässig salzreicher erscheinen, als in einem regenreichen Gebiete. In welcher Weise tiefgründige, verborgene Verwitterungsprozesse durch eben diese Salzmengen eingeleitet und begünstigt werden, das haben wir in einem früheren Abschnitt ausführlich besprochen. Hier interessiert uns nur die Thatsache, warum und dass so viele Felsen in der Wüste salzreich sind.

Aber der Salzreichtum der Wüsten wird noch wesentlich gesteigert dadurch, dass die lösenden und transportierenden Gewässer innerhalb der abflusslosen Gebiete verdunsten. Gewisse Ausnahmen und Uebergangsgebiete abgerechnet, sind die abflusslosen Wüsten ohne dauernde hydrographische Verbindung mit dem Meere, und wenn wir früher dieselben als Regionen intensiver Anreicherung von klastischem Material geschildert haben, so gilt dies in noch viel höherem Maasse für die chemischen Verbindungen. In einem dränierten Lande muss endlich jeder Wassertropfen mit den von ihm gelösten Substanzen zum Meere zurückkehren, aus dem er ursprünglich stammte; in einem abflusslosen Gebiet wird er bald in die Atmosphäre aufgenommen, aus der er herniederfiel, und die von ihm gelösten Salze bleiben zurück. Deshalb versalzen alle abflusslosen Regionen, und nur salzreiche Gegenden sind wirklich abflusslos. In unserem europäischen Klima können wir uns kein treffendes Bild davon machen, was Abflusslosigkeit bewirkt, sonst würde die erdgeschichtliche Bedeutung dieser Verhältnisse längst allgemein erkannt sein.

Die Regengüsse in der Wüste sind von kurzer Dauer und meist auf ein engumschriebenes Gebiet beschränkt; die fliessenden Gewässer, die aus ihnen entstehen, versiegen nach wechselndem Laufe; die Flüsse und Seen haben keinen Bestand; das Grundwasser strömt jedesmal dahin, wo die austrocknende Wirkung der Sonnenstrahlen am stärksten ist. Diesem diffusen, regellosen, unbeständigen, widerspruchsvollen Charakter der hydrographischen Transportwege entspricht naturgemäss die Verteilung der Salze im Boden. Ein weiter süsser See wird nach wenigen Tagen brackisch und nach einigen Wochen zum Salzsumpf; eine frische reine Quelle versiegt nach kurzem Lauf in einem salzgetränkten Morast; leichtlösliche Salze werden lange Zeit transportiert,

schwerlösliche finden rasch ihre Ruhe. Wenn es möglich wäre, eine chemische Karte der Salzverteilung in einem Wüstenlande zu zeichnen, auf welcher der Salzgehalt der Felsen und des Erdbodens mit denselben Farben angegeben würde, wie der chemische Salzgehalt dauernder oder periodischer Gewässer, so würde man mit einem Blick eine Fülle von Beziehungen erkennen. Man würde die Wege sehen, die oberirdisch oder unter der Erde den Ursprungsort mit dem Ablagerungsort gewisser Salze verbinden, und man würde aus der Menge des Salzes sofort die Intensität der Verdunstung ablesen können. Aber auch ohne eine solche Karte kann man sich leicht ein Bild machen, in welcher Weise die willkürliche Hydrographie eines Wüstenlandes in der Salzverteilung ihren Ausdruck findet.

Wäre nur das Wasser als Transportkraft für die Wüstensalze thätig, so würde der tiefste Punkt jedes Wannensystems alle Salze enthalten, die aus den umliegenden Felsen ausgelaugt worden sind. Aber neben dem Wasser spielt auch der Wind als Transportmittel für die Wüstensalze eine gewisse Rolle, und da er unabhängig ist von den Neigungsverhältnissen des Geländes, so verändert er das schematische Bild. Man hat sogar auf die Thätigkeit des Windes die Versalzung aller ariden Regionen zurückführen wollen. (Bemerkenswert bleibt in dieser Hinsicht immer der Salzhagel, der am 30. August 1870 11 Uhr vormittags an der Lucendrobrücke der Gotthardstrasse fiel. Nach Kenngott befanden sich $^3/_4$ gr schwere Salzkrystalle dabei.[1])

Salze bilden sich überall, es kommt nur darauf an, dass sie geographisch konserviert werden und nicht mit den abfliessenden Gewässern nach dem Weltmeer geführt werden können. Der Wüstenwind bläst leicht die Anflüge efflorescierender Salze von verdunstenden Ebenen und Felswänden ab, mischt dieselben mit feinem Sand oder Staub und häuft salzhaltigen Löss und salzhaltigen Dünensand auf. Streicht der Wind über eine mit hygroskopischen Salzen angereicherte Thonebene, die durch die Salze immer feucht gehalten wird, dann bleiben mitgeführte Salzteilchen ebenso kleben, wie der windgetragene Staub, und die Thonebene erscheint nach dem Sturme wie gepudert. Langsam wachsen auf diesem Wege die Takyre, Sebcha und alle ähnlichen Salzthonebenen an Thon und Salzgehalt.

Mit dem Transport des Salzes durch Wasser und Wind ist aufs engste verknüpft die lokale Anreicherung des Salzes in der Wüste. Bei der weiten Verbreitung mariner Sedimente können wir hier wieder anknüpfen an die früher erwähnte Thatsache, dass jeder marinen Gesteinsreihe von 100 m Mächtigkeit eine 1 m dicke Schicht von Seesalz in fein verteiltem Zustande entspricht. Dieser, über eine grosse Fläche verteilte Salzgehalt wird durch hygroskopische Kraft an die Felsoberfläche und durch die fliessenden Gewässer von dieser nach den Depressionen geführt, in denen sie verdunsten. Wenn

[1]) Kenngott, Züricher Vierteljahrsschrift. XV. S. 377.

ein Gebiet von 1000 Quadratmeilen Fläche mit marinen Gesteinen von 100 m Mächtigkeit bedeckt ist und alle fliessenden Gewässer in einer Depression von 10 Quadratmeilen Fläche verdampfen, so muss hier ein »marines« Salzlager von 100 m Mächtigkeit entstehen. Nun haben wir früher gesehen, dass das Zahlenverhältnis zwischen den abflusslosen Flächen und den centralen Verdunstungsbecken innerhalb derselben solchen Beispielen nahe kommt. Fast ganz Russland ist dem Caspi tributär, ganz West-Turkestan dem Aralsee, und jeder kleine Wüstensee sammelt die Salze einer tausendmal grösseren umliegenden Fläche. Die hier fein verteilten und oft nur in geringen Spuren nachweisbaren löslichen Verbindungen müssen notgedrungen in dem centralen See angereichert werden und können zu grosser Mächtigkeit anwachsen, ohne dass vom Meere her Salzströmungen hinzukämen.

Wenn ein grosser Binnensee nun den gesamten Gehalt der von seinen Flüssen dränierten Felsarten sammelt, so reichern die an seinen Ufern entstehenden Wüstenhaffe nochmals die Salzlösung an. Wie in der Technik eine schwache Salzsole erst gradiert und dann in den Sudpfannen eingedampft wird, so wirkt der grosse Binnensee bloss als Gradierwerk, die ihm angereihten Wüstenhaffe aber entsprechen den Sudpfannen; und wenn wir am Adjidarja eine Ablagerung von Glaubersalz entstehen sehen, die im Caspi nicht entstehen kann, so bildet dieses klassische Beispiel nur eine der vielen Möglichkeiten von Salzabscheidung in abflusslosen Regionen.

Alle die verschieden entstandenen und verschieden zusammengesetzten Salzlösungen werden so auf engem Raume konzentriert und immer mehr eingedickt. Gilbert hat gezeigt, wie der diluviale Lake Bonneville und der benachbarte Lake Lahontan in Nordamerika abflusslos wurden und ihr vormals 300 m tiefes Wasserbecken allmählich durch überwiegende Verdunstung zusammenschrumpfte. Das Wasser enthielt eine gewisse Menge von Kalksalzen, die beim Eindampfen der Seen zuerst ausgeschieden wurden. Höchst seltsam mutet es uns jetzt an, wenn wir von der einsamen Station Terrace in Utah nach dem Gebirgsrand wandern und hier dicke Ausscheidungen von Kalksinter den Granitboden überziehen sehen. Noch viel befremdender werden diese Kalksinter-Abscheidungen westlich davon in Nevada. Bild 34 zeigt uns dicke Rinden von solchem natürlichen »Kesselstein« am Ufer des Pyramidensees, Bild 35 ebenso entstandene »Kalkpilze« am Boden des einstigen Lake Lahontan. Die Mutterlauge des verdampften Wassers ist in eine grosse Zahl einzelner Seebecken zerlegt worden, von denen der Grosse Salzsee am bekanntesten ist. Unter dem Einfluss starker Sommerwärme weicht sein flacher Strand meilenweit zurück, und der silbergraue Seeschlamm bedeckt sich mit einem staubförmigen Salzpulver. Im glühenden Sonnenbrand wandern wir stundenlang über die absolut horizontale, parkettartig glatte Thonebene, von der das blendende Tageslicht grell reflektiert wird. Kein Halm, keine dornige Wüstenpflanze spriesst aus dem salzgetränkten Thon, und nur in weiter Ferne zittert das Bild der Stations-

gebäude über die weisse Fläche. Zur Linken ragen malerische Gebirge, von der Provostrandlinie umzogen, aus dem Ufergelände und zur Rechten glitzert der silberne Wasserspiegel des Grossen Salzsees. Würde nicht der Bärenfluss und eine Anzahl anderer beständiger Zuflüsse sein Wasser noch immer verdünnen und winterliche Niederschläge die verdunstende Wirkung der Sommerwärme immer wieder aufheben, so wäre hier schon längst ein festes Salzlager entstanden.

Bei der Verdampfung solcher Salzlösungen gewinnt ein Umstand, der hier nicht übergangen werden darf, eine ganz besondere Bedeutung. Wir haben gesehen, dass viele Wüstenseen ein sehr wechselndes Geschick haben, dass sie plötzlich entstehen auf vorher trockenen Flächen, und dass sie in vielen Fällen keine oder nur geringe dauernde Zuflüsse haben. Salzlösungen haben zudem, wie dies Brewer zuerst feststellte und Bodländer begründete, ein sehr kräftiges Fällungsvermögen für klastische Sedimente. Nun denken wir uns den schon früher geschilderten Fall, dass durch riesige Wolkenbrüche mitten in einem Wüstenland ein neuer See entsteht. Die Ebenflächigkeit des Wüstenbodens bewirkt es, dass dieser periodische See eine sehr grosse Fläche, aber nur geringe Tiefe besitzt. Vielleicht strömen ihm noch einige Flüsse und Bäche zu, die vorher auf der Ebene versiegten, und tragen immer neue Spuren von ausgelaugten Salzen und abgeschlämmtem Thon hinzu. Dem Charakter des Klimas entsprechend, ist aber die Verdunstung höher als die Zuflusse, und alle chemisch gelösten und mechanisch herbeigetragenen Bestandteile des Wassers müssen sich anreichern. Es wird zuerst der ganze Brei des bei dem Wolkenbruch mitgerissenen klastischen Materials unter dem Einfluss der Salzlösung rasch zu Boden fallen, und darüber steht eine klare reine Salzflut. Die durch die Zuflusse weiter herbeigetragenen Sande und Thone werden am Ufer niedergeschlagen, und klares salzhaltiges Wasser strömt dem Seebecken weiter zu. Die Verdunstung hebt an, und der Seespiegel verkleinert sich. Da der See auf sehr flachgeneigtem Boden entstand, da zudem durch Schlamm und Sand der innere Trichter der Depression rasch zugefüllt worden war, so brauchte der Seespiegel nur um einige Fuss zu fallen, um gleichzeitig seine Fläche ganz wesentlich zu verkleinern. Jeder folgende Querschnitt des Sees zeigt eine auffallende Verkleinerung der Wasseroberfläche bei gleichzeitiger geringer Tiefenabnahme, und so mögen nur wenige Wochen vergehen, bis die mächtige Kraft der Insolation die Abscheidung der Salze veranlasst. Je stärker die Sole wird, desto mehr wächst ihre Kraft, allen Thonschlamm niederzuschlagen, und so krystallisiert das gelöste Salz aus, frei und rein von thonigen Beimengungen, frei von marinen Resten und doch, auf indirektem Wege, marinen Ursprungs.

Ueberaus mannigfaltig sind die Umstände, unter denen solche Salzlösungen fest werden und auskrystallisieren, und aus diesen mit einander abwechselnden Bedingungen wollen wir hier einige charakteristische Vorgänge herausgreifen.

Dass Lösungen durch Erwärmung verdampft und zum Auskrystallisieren gebracht werden können, ist ein im Laboratorium so oft wiederholter Vorgang, dass ich darauf kaum einzugehen hätte, wenn nicht beim Laboratoriumsversuch zwei Prämissen selbstverständlich wären, die in der Natur etwas anders gestaltet sind. Es ist erstens bei jedem solcher Versuche notwendig und selbstverständlich, dass man beim Eindampfen kein neues destilliertes Wasser hinzu giesst, denn dadurch wird das Ende des Eindampfens immer wieder hinausgeschoben. Nun regnet es bekanntlich überall auf der Erde, und überall gelangt destilliertes Regenwasser in die an offener Erdoberfläche eindampfenden Lösungen. Was im Laboratorium durch das Dach des Hauses geleistet wird, muss in der Natur durch klimatische Umstände bedingt sein. Wenn also irgendwo eine Lösung durch Eindampfen auskrystallisieren soll, so muss das Klima regenarm sein, und die Summe des verdunstenden Wassers muss mindestens grösser sein, als die Summe der Niederschläge. Alle anderen Bedingungen sind nebensächlich gegenüber diesem Hauptpunkt, und jede Hypothese, die an der Erdoberfläche durch Verdunstung irgendwelche Salzlager entstehen lassen will, muss ein regenarmes Wüstenklima notwendig voraussetzen.

In einem anderen Punkt unterscheidet sich aber die Bildung natürlicher Salzabsätze unter freiem Himmel sehr wesentlich von der gewöhnlichen Anordnung des Laboratoriumsversuches: hier liegt die Wärmequelle unter der Lösung — in der Natur erfolgt die Eindampfung von oben aus, durch die Strahlen der Sonne. Ich glaube, dass man diesen Umstand nicht ausser Acht lassen darf bei geologischen Erklärungen, denn er bedingt eine wesentliche Aenderung der begleitenden Umstände, und die vielgerühmte Versuchsreihe von Usiglio, der eine Schale mit Seewasser von unten her erhitzte, die entstandene Mutterlauge von den jedesmal abgeschiedenen Salzen abgoss und dann die isolierte Soole weiter verdampfte, ist unseres Erachtens nicht geeignet, ohne weiteres die natürliche Bildung grosser Salzlager zu erklären.

Aber dem Wüstenklima stehen, neben der Erwärmung von oben, noch eine Anzahl anderer höchst wichtiger Vorgänge zur Verfügung, um aus der grossen Menge verschiedenartiger Lösungsgemische gewisse Salze abzuscheiden, andere wieder weiterzutransportieren. Es ist bekannt, dass viele abflusslose Gebiete, und gerade die grössten derselben ein durchaus kontinentales Klima haben, und dass infolgedessen hohe Sommerhitze mit tiefen Wintertemperaturen abwechselt. In dem abflusslosen Tarimbecken fand Przewalski[1]) den 50 Werst grossen Salzsee Tschongkumkul, 3570 m hoch, der im Dezember bei einer Lufttemperatur von -34^0 nicht zugefroren war und eine Wassertemperatur von -11^0 zeigte. Wenn man weiter erwägt, dass ein Gemisch von Schnee und Salz eine beträchtliche Temperaturerniedrigung herbeiführen kann, so wird bei leichtem Schneefall, wie er in der Wüste gelegentlich

[1]) Peterm. Geogr. Mitt. 1889. S. 35.

beobachtet wird, eine energische Abkühlung von Salz-Seebecken eintreten. Bekanntlich kann man Kieserit im Laboratorium nur bei andauernder Erwärmung über 100° eindampfen. Eine Carnallit-Lösung[1]) beginnt ihr Wasser erst bei 120° C. zu verlieren — aber Liebig sah Carnallit aus der Sole von Salzhausen »bei Winterkälte« auskrystallisieren. Wenn wir nun in einzelnen Salzseen[2]) Centralasiens Abraumsalze ausgeschieden finden, so ist diese Abscheidung wahrscheinlicher unter dem Einfluss grosser Kälte erfolgt, als bei höheren Temperaturgraden.

Einen bemerkenswerten Einfluss auf die Ausscheidung bestimmter Salze aus Lösungen in der Wüste haben wandernde Dünen. Dass Dünensande von beträchtlicher Mächtigkeit unter dem Einfluss bestimmter Windrichtungen transgredierend eine weite Fläche überschreiten können, haben wir oben geschildert. Hierbei geschieht es häufig, dass sie an die Ufer salziger Seen herantreten und, mit ihren Sandmassen sich weiterwälzend, einen oder mehrere solcher Seen, vielleicht ein ganzes Seengebiet überschreiten. In den Steppen des unteren Wolgalandes sind zahllose Salzseen versandet, und unter dem Sandlager findet man dichtes, ungeschichtetes Chlornatrium von grosser Reinheit. Während die ausgeschiedenen Verbindungen vom Sande überschüttet wurden, saugte die Kapillarität des trockenen, glühend heissen Sandes die darüberstehende Mutterlauge ab, und in dem feinverteilten Zustande wurde sie leicht zu trockenem Salzstaub verwandelt. Solche Fälle lassen sich dann wohl vergleichen mit den Versuchen von Usiglio, der die Mutterlauge jedesmal abgoss, wenn ein Salz des Seewassers auskrystallisiert war.

Ein ganz ähnlicher, Salze eintrocknender Vorgang wird durch die Staubmassen veranlasst, die jeder Wüstensturm mit sich führt. Man begegnet in der geographischen Litteratur und auf den Karten der Wüstenländer häufig dem Ausdruck »Salzsumpf«, »Salzmarsche«, »Salzmorast« und sieht solche Bildungen oft als ein charakteristisches Element der Wüstenlandschaft. Freilich vermeidet jede Karawane ängstlich, eine solche Thonfläche zu überschreiten, denn bei jedem Schritt gleiten die Kamele aus, und der Wanderer, der allein einen solchen Salzmorast zu überschreiten sich anschickt, wird rasch wieder nach dem trockenen Ufer zurückkehren und lieber einen Umweg machen, ehe er in den gefährlichen unpassierbaren Boden weiter eindringt.

Wiederholte Wanderungen an solchen Salzsümpfen und der Vergleich mit dem ganz ähnlichen Zustand, den das Ufergebiet von noch bestehenden Salzseen darbietet, hat in mir die Ueberzeugung gebildet, dass die thonigen Salzsümpfe aus Mutterlaugentümpeln durch eine eigentümliche Staubüberwehung entstehen. Wo sich in einem Wüstensee die stark hygroskopischen Salze aus dem Seesalz mariner Gesteine ansammeln, da bildet diese stark wasseranziehende Sole lange Zeit ein unbesiegbares Hindernis für die austrocknende Wirkung

---

[1]) Bischof, Die Steinsalzwerke bei Stassfurt. 1864. S. 27 u. 50.

[2]) Loczy, l. c. S. 569.

der Sonnenstrahlen. Welche hygroskopische Kraft den Kalisalzen innewohnt, geht nach Branco am deutlichsten daraus hervor, dass in der Landwirtschaft lehmige Böden leicht durch das öftere Ueberstreuen nur weniger Zentner von Kalisalz pro Morgen bereits geschädigt werden können, weil das Salz zuviel Wasser aus der Luft anzieht. Wenn man erwägt, dass nach Bischof der Tachhydrit erst bei 160° C. sein Wasser zu verlieren beginnt, selbst wenn die Lösung im Laboratorium von unten erwärmt wird, so bildet meines Erachtens die Existenz festen Tachhydrits in den Erdschichten ein unbesiegbares Hindernis für die Vorstellung, dass dieses Salz von den Sonnenstrahlen in offenen Becken mit oder ohne Barre in der Nähe des Weltmeeres eingedampft worden sei. Denn solche Temperaturen hat noch niemand in einem natürlichen See beobachtet; jeder Seewind führt soviel Feuchtigkeit zur Küste, dass die Abraumsalze sich wieder verflüssigen müssen, und der von Bischof zu Hilfe gerufene »grosse Druck« hat doch nur den Charakter einer Verlegenheitshypothese. Befinden sich aber solche, mit leichtzerfliessenden Salzen erfüllte Becken in der Wüste, dann müssen sie, wie ich das mehrfach beobachtete, aus dem über sie hinwegwehenden Staubwind alle am Boden entlang getriebenen Staubteilchen an sich reissen und eine klebrige Oberflächenschicht von Lössstaub bilden. Ich habe schon bei verschiedenen Gelegenheiten darauf aufmerksam gemacht, dass solche Salzmoräste nach einem Sturm wie gepudert aussehen. Der halbtrockene Staub klebt in dünner Schicht auf dem feuchten Lehm, und während man glaubt, die staubbedeckte Ebene ohne Mühe überschreiten zu können, gleitet gar bald der Fuss auf dem glitschigen Boden aus und kann nur mühsam vorwärts dringen. Ich glaube auf Grund meiner Erfahrungen vermuten zu dürfen, dass diese hangende dünne Lehmschicht, wenn sie beständig stark erhitzt wird, eine austrocknende Wirkung nach unten ausüben möchte, der selbst stark hygroskopische Salze auf die Dauer nicht widerstehen können.

Alles, was wir bisher über den Transport der Salze in den abflusslosen Wüsten sagen konnten, bringt aber noch einen anderen, geologisch überaus wichtigen Vorgang unserem Verständnis näher, nämlich die Zerlegung der Lösungsgemische in einzelne chemisch verschiedene Lösungen und Ablagerungen. Unerwartet und mit riesigen Wassermengen stürzt ein Wolkenbruch in der Wüste hernieder, sein Bewässerungsgebiet ist von scharf umschriebenem Umriss, seine Fluten versiegen nach kurzem Lauf. In den Depressionen und den tiefsten Stellen des jeweiligen Regenareals sammeln sich vergängliche Seen, und bald beginnt die glühende Sonne ihr Werk. Das Wasser verdampft, die am schwersten löslichen Salze werden ausgeschieden. Jetzt wandert eine Dünenkette heran, schreitet über den flachen See hinweg, trocknet die noch übrige Lösung ab und macht die Salzteile zum Spiel des Windes. Mit dem Sturme eilen sie über die Ebene, und wenn seine Kraft erlahmt, sinken sie zu Boden, fern von den Salzen, die im ersten Lösungsgemisch noch enthalten waren. Ein neuer Regen bildet hier zwischen Sanddünen

einen mit Mutterlauge erfüllten See, und ein heftiger Winter bringt durch seine Kälte gewisse Salze zur Ausscheidung. Jetzt treibt Thonstaub über die hygroskopische Fläche, bildet einen wasserundurchlässigen Mantel auf den ausgeschiedenen Kalisalzen, und wenn er auch nur fussdick wird, so kann doch nach einigen Jahren ein neuer Wolkenbruch mit seinen Fluten darüberbrausen, ohne die liegenden Abraumsalze anzugreifen. Neue Lösungen stehen jetzt darüber im neugebildeten See, und über den Mutterlaugensalzen entstehen vielleicht wieder mächtige Schichten von Anhydrit oder von chemisch abgeschiedenem Kalk.

Ich möchte vermuten, dass ich mit dieser Schilderung keineswegs die grosse Mannigfaltigkeit lithogenetischer Umstände erschöpft habe, die bei der Bildung eines grösseren Salzlagers von wechselndem Profil thätig waren; aber das Gesagte wird genügen, um darauf hinzuweisen, dass die Natur reicher ist, als vielcitierte Laboratoriumsversuche uns glauben machen möchten.

Prüfen wir jetzt die Prämissen, unter denen heutzutage in allen abflusslosen Regionen Salzausscheidung beobachtet werden kann, so sind folgende Annahmen notwendig:

1. eine Lösung von beliebiger Herkunft und beliebiger Konzentration, mag dieselbe eine abgeschnürte Meeresbucht erfüllen, mag sie durch Verwitterung und Auslaugung nicht mariner Schichten entstanden sein, oder mag das Seesalz aus den marinen Schichten einer früheren Periode ausgelaugt sein — in allen diesen Fällen kann dasselbe Resultat erreicht werden;
2. ein Wüstenklima mit hoher Verdunstung und geringen Niederschlägen. Es ist ganz gleichgiltig, ob das Jordanwasser im Toten Meer 400 m unter dem Meeresspiegel verdampft, oder das Wasser des Bärenflusses im Grossen Salzsee 1500 m hoch; es ist ohne Bedeutung, ob im Run of Kutsch Meerwasser über ein flaches Litoral hinwegspült, oder in Tibet weit vom Meeresufer ein marines Gestein entsalzt und das fossile Meeressalz in Salzseen angereichert wird; es ist ganz nebensächlich, ob eine Sandbarre flache Buchten von einem grossen Binnensee abtrennt, oder ein küstenfernes kleines Becken grosse Mengen von salzhaltigem Flusswasser verdampft.

Nach den Laboratoriumsversuchen erscheint es notwendig, zur Abscheidung mancher Salze Temperaturen über 150° anzunehmen oder einen hohen Druck vorauszusetzen, der solche Temperaturen ergänzen könnte. Aber nach unseren Beobachtungen und Studien brauchen wir nur anzunehmen:

3. ein Wüstenklima mit starker Insolation, gelegentlichen Schneefällen und Kälteperioden, heftigen Stürmen, wandernden Dünen und treibendem Staub;

und alle diese Bedingungen in jenem mannigfaltigen Wechselspiel, das man in der Wüste beobachtet — und man kann sich leicht vorstellen, wie durch solche

Kräfte Salzlösungsgemische zerlegt, Salzlösungen konzentriert und Salze von sehr wechselnder Beschaffenheit ausgeschieden werden können.

Mit Rücksicht auf die genetische Erklärung fossiler Salzlager dürfte es wahrscheinlich zwei Gruppen von Bildungsvorgängen geben: Entweder gelangt Meerwasser über eine Barre oder durch andere Umstände in eine abflusslose Pfanne hinein, und seine Salze werden darin ausgeschieden. In diesem Falle werden wir im Liegenden des Salzes, und diffus darin verteilt, die wohlerhaltenen Ueberreste der gleichzeitigen Meeresfauna finden.

In allen den Fällen aber, wo die Salz- oder Gypslager frei von marinen Resten sind und dafür fossile Landpflanzen und Landtiere enthalten, müssen wir an eine andere Bildungsweise denken. Es handelt sich dann wahrscheinlich um die Salze eines früheren Meeres, die entweder als Salzlager, oder in feiner Verteilung marinen Schichten eingeschaltet waren. Während die mit ihnen vergesellschafteten marinen Reste im Gestein zurückblieben, konnten die löslichen Salze ausgelaugt, in abflusslosen Wannen konzentriert und wieder ausgeschieden werden. Aber in beiden Fällen ist die Annahme eines Klimas mit geringen Niederschlägen und hoher Verdunstung unvermeidlich, denn nur in einer abflusslosen Region sehen wir heutzutage lösliche Salze in grösseren Lagern sich bilden und konservieren.

Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, alle bekannten Salzlager daraufhin zu prüfen, unter welchen Umständen sie entstanden sind, wir geben auch zu, dass möglicherweise noch andere, hier nicht berücksichtigte Bedingungen eine begleitende Rolle gespielt haben, aber wir sind der Ueberzeugung, dass das Problem der Salzbildung einer erneuten Prüfung unterzogen werden muss, und dass die recenten Bedingungen der Salzabscheidung in abflusslosen Gebieten hierbei mehr berücksichtigt werden müssen, als es bisher geschehen ist.

Es ist für den Bewohner eines regenreichen Klimas überaus befremdend, wenn er hört, dass es Länder giebt, in denen Salzgesteine weite Flächen überdecken oder ganze Berge zusammensetzen. Auf der Insel Kischim[1]) am Persischen Golf besteht ein Berg von 6 km Länge, 1500 m Breite und 150 m Höhe aus reinem Steinsalz. Ein Beispiel[2]) von einer mächtigen stockförmigen Salzmasse bot der Bittersee auf dem Isthmus von Suez bis zum Tage, wo der Kanal ihn durchflutete. Man fand darin eine Linse von Steinsalz 13 km lang, 6 km breit und 8 m dick, die bis auf einige, in Sammlungen gelangte Stücke (Wien) durch die durchflutenden Kanalwasser wieder aufgelöst worden ist. Es liegt keineswegs an der geologischen Struktur des Landes, sondern nur an klimatischen Ursachen, dass solche Salzberge unter freiem Himmel zur Beobachtung kommen. Nur in einem regenarmen Klima kann sich Salzgestein

[1]) Winklehner. Ref. Zeitschrift f. prakt. Geol. 1893. S. 44.

[2]) Bader. Verh. d. k. k. geol. Reichsanstalt. Wien 1869. S. 287.

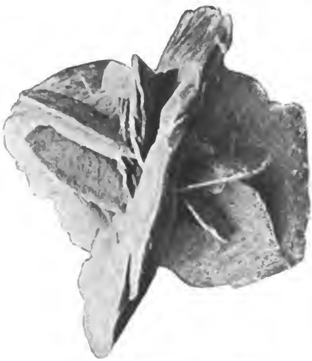
an der Erdoberfläche halten, und wo in Europa ein Erdfall entsteht, da kann in der Wüste durch Abtragung weicher Deckschichten ein Salzstock felsbildend herausmodelliert werden. Die Häufigkeit des Salzes in allen abflusslosen Regionen findet daher auch ihren Ausdruck in der Häufigkeit älterer, fossiler Salzlager, die nicht durch bergmännischen Betrieb erschlossen zu werden brauchen, sondern die durch die trockene Denudation des Windes ans Tageslicht kommen.

Wenn es sich nun darum handelt, die Bildung einer grösseren Masse von Gyps, Anhydrit, Chlornatrium oder gar von leichtzerfliessenden Mutterlaugensalzen zu erklären, so ist meines Erachtens jede Hypothese ungenügend, die nicht zugleich erklärt, wie über einem Lager von Abraumsalz eine wasserundurchlässige Thondecke gebildet wird. »Wasserfluten« können doch unmöglich einen »wasserundurchlässigen« Abschluss erzeugen; und so scheint mir der Kernpunkt jeder Hypothese über die Bildung von Salzlagern darin zu liegen, dass man erklärt, wie das gebildete Salzgestein gegen transgredierende Gewässer geschützt worden ist. Wir haben nun schon mehrfach gezeigt, wie in der Wüste durch wandernde Dünen und durch trockenen Lössstaub Deckschichten von Sand und Thon über liegenden Salzlagern entstehen, dass diese wenigen Bemerkungen hier genügen werden, um eine erneute Prüfung der fossilen Vorkommnisse anzuregen.

Die allgemeine Leblosigkeit der Wüste findet ihren sprechenden Ausdruck in der Armut der salzreichen Ablagerungen an Ueberresten von Pflanzen und Tieren. Andererseits ist die konservierende Kraft von Salzsole auf organische Reste so bekannt, dass man wohl verstehen kann, wie unter gewissen Umständen besonders festländische Tiere und Pflanzen in die neugebildeten Gyps- und Salzschichten geraten und eingepökelt werden können.

Von hohen gelben Sanddünen umschlossen, liegt glatt und weiss, wie eine frischbeschneite Eisfläche der Salzsee bei Mollahkara. Tausende von Zentnern Salz werden in jedem Jahr daraus gewonnen, und durch lange Kamelkarawanen nach der transkaspischen Bahn gebracht, aber immer ersetzt sich das Salz, immer wieder strömen salzige Zuflüsse dem abflusslosen Becken zu. Ein Kranz grünen Buschwerks umzieht seine Ufer und lässt den Farbenkontrast des blauen Wassers, des salzbedeckten Ufers und der rotgelben Düne umso greller aufleuchten. Ginsterartige Ephedrabäume, Binsenbestände und stachelige Akazien bilden eine dichte Hecke, dazwischen erheben sich hellgrüne Tamarisken. Ihre elegant herabhängenden Aeste tragen eine rote Blütentraube. Dürre Aeste, Blätter und Blüten fallen in das salzgeschwängerte Wasser und erzeugen darin bei langsamer Verwesung einen stark nach Schwefelwasserstoff riechenden, schwarzen Schlamm, den man als einen »bituminösen Salzthon« betrachten könnte. An allen Wurzeln und herabhängenden Zweigen krystallisieren Kochsalzkrystalle aus, und an dem gegenüberliegenden Ufer bildet das Salz eine zolldicke weisse Decke von ziemlicher Härte, wie eine Eisdecke. Im Wasser bemerken wir

Schwärme von Artemia salina, kleine zarte Muschelkrebse, deren rötliche Schalen bisweilen in solcher Menge in das Salz geraten, dass es einen rötlichen Schimmer erhält. Grössere Säugetiere oder Insekten können leicht in den Salzthon geraten und darin vortrefflich konserviert werden, und wenn im Frühjahr die Zugvögel kommen, wimmeln die Ufer der Salzseen von allerlei Vogelschwärmen. Die Laufspuren von Schlangen, Eidechsen und Käfern auf den nahen Sanddünen machen es wahrscheinlich, dass gelegentlich auch solche Tiere in dem hier entstehenden Salzlager fossil werden können. Aus den braunen Thonen am Ufer der einen Salzpfanne blühten zentimetergrosse Gypskrystalle aus, in zierlichen kleinen Rosetten, so wie ähnliche Gypskrystalle von grösseren Dimensionen im Bogdosee von Dr. Pawlow gesammelt worden sind, die beistehende Figur 50 wiedergiebt. Die ganze Ablagerung dürfte im Laufe der Zeiten folgendes Profil zeigen: Auf einem Lager gelber Sandsteine von mindestens 50 m Mächtigkeit ruht eine Schicht schwarzen Stinkthons, dessen Schwefelgehalt vielleicht zur Bildung von Schwefelmineralien Veranlassung giebt, darin sind ebenso wie in den Salzabsätzen vereinzelte Reste festländischer Pflanzen und Tiere, sowie zahlreiche Muschelkrebse enthalten. Gyps durchsetzt in kleinen Krystalldrusen andere Thonpartien von mehr braunroter Beschaffenheit, und das Salzlager wird überdeckt von den Sandsteinen der darüber hinweggeschrittenen Sandwüste.



50. Recenter Gypskrystall aus dem Bogdosee.

Nachdem wir geschildert haben, dass und warum in den heutigen Wüsten Absätze von sehr verschiedenartigen Salzen entstehen, nachdem wir gezeigt haben, wie diese Salz- und Gypsgesteine in der Regel frei von klastischen Zwischenschichten, frei von marinen Ueberresten, aber gelegentlich reich an festländischen Tieren, Pflanzenresten und den Schälchen kleiner Muschelkrebse sind, wie die umliegenden Thonflächen die Fussspuren zahlloser Tiere enthalten können — möchten wir zum Schluss noch die Frage untersuchen, bis zu welcher Mächtigkeit solche chemische Niederschläge in der Wüste anwachsen können.

Marine Ablagerungen können nur unter dem Meeresspiegel entstehen und können nur so mächtig werden, wie der Abstand zwischen Meeresgrund und Meeresoberfläche beträgt. Die in den heutigen Wüsten gebildeten Absätze unterscheiden sich sehr wesentlich hiervon. Eine abflusslose Wanne kann

solange mit Schichten von Kies, Sand und Thon zugefüllt werden, als noch eine Felsenzacke der sie umrandenden Gebirge aus dem Schuttmeere herausragt. Und während ein marines Salzlager nur an der Küste und unter dem Meeresspiegel entstehen kann, ist die Salzabscheidung in den abflusslosen Gebieten an keine topographische Höhe gebunden. Es giebt versalzte Wüsten-Depressionen wie das Tote Meer, 400 m unter dem Meeresspiegel, es giebt versalzte Meeresbuchten, wie bei Allolebad im Niveau des Roten Meeres, und es giebt zahllose Wüstenseen in allen Höhen bis 5000 m über dem Meeresspiegel, die sich in nichts von den zuerst genannten unterscheiden. Mag die Salzlösung aus dem jetzigen Meere abstammen oder aus den marinen Sedimenten einer früheren Periode ausgelaugt sein — nur das abflusslose Wüstenklima und nicht die topographische Lage ist die Ursache der Salzabscheidung. Demgemäss kann in solchen festländischen Salzseen die Salzablagerung nach oben wachsen, ganz unbekümmert um die jeweilige Lage des Meeresspiegels; und die Mächtigkeit der dabei entstehenden Niederschläge hängt nur von der Menge des Seesalzes ab, das aus dem umliegenden Wüstengelände durch Bäche und Ströme der Salzpfanne zugeführt wird. Ob dies miocäne, permische oder silurische Schichten sind, ob mithin miocäne, permische oder silurische Salzmengen ausgelaugt werden, ist von ganz untergeordneter Bedeutung.

Ein wohldräniertes Land mag noch so viele oberirdische oder unterirdische Salzmengen enthalten — es wird in der Regel nach einiger Zeit entsalzt, die oberflächlichen Schichten werden ausgelaugt, Sool-Quellen entführen die Salze aus dem Gebirge, Erdfälle entstehen, und alle diese Lösungen werden zum Ozean getragen. Hier mischen sie sich mit der salzigen Meeresflut und verschwinden in dem Ueberschuss an lösendem Wasser. Ein abflussloses Land versalzt, aber diese Versalzung ist nur scheinbar. Denn die meisten Salzmengen sind ja schon im Gestein enthalten und werden nur von den Quellen zu Tage gefördert, vom heissen Wind emporgesaugt, in allen oberflächlichen Depressionen gesammelt und angereichert. Wohl kann durch den Wind zerstäubter Wellenschaum mit seinem Salzgehalt in eine abflusslose Region hineingetrieben werden, wohl sind Fälle denkbar, wo ähnlich wie bei Argostoli Seewasser landeinwärts strömt und seine Salze in grosse Abdampfbecken gelangen. Aber diese Beispiele sind doch von geringfügiger Bedeutung gegenuber der Auslaugung fossiler salzhaltiger Gesteine. Alle in solchen Schichten enthaltenen Salzmengen müssen sich an den tiefsten Stellen der einzelnen Abflussgebiete beständig anreichern und werden als lokalisierte Salzlager den gleichzeitig gebildeten klastischen Ablagerungen eingeschaltet. Dieser Vorgang ist unabhängig von der Nähe oder Ferne des Meeres, von dem beständigen oder oscillierenden Stand des Meeresspiegels und liefert Salzabsätze von verschiedener chemischer Konstitution, mit oder ohne Schichtung, meist ohne Fossilien, oder aber mit den Ueberresten luftatmender Tiere, landbewohnender Pflanzen und

jenen Reliktenfaunen und Einwanderern, die im Laufe der Zeit die Seen und Flüsse eines abflusslosen Landes besiedelt hatten.

Angesichts solcher, in der Gegenwart leicht zu beobachtender Thatsachen dürfte es wünschenswert erscheinen, das Problem der Bildung fossiler Salzlager, wie dies von Ramsay, E. Fraas, W. Branco u. A. schon geschehen ist, einer erneuten Prüfung zu unterziehen und die von C. Ochsenius mit so grossem Erfolg begonnenen Studien über den Chemismus bei der Salzbildung auch nach der klimatologischen Seite weiter zu verfolgen.

14. Die fossilen Wüsten.

Wenn wir die Erdkugel aus ihren Angeln heben könnten, um sie prüfend von allen Seiten zu betrachten, so würden wir leicht erkennen, dass ein einziges, grosses, grenzenloses Weltmeer die Erde umspannt, in dem die Festländer wie Inseln verteilt sind, und dass die sogenannten »Weltmeere« nur künstlich und willkürlich abgetrennte Stücke eines einheitlichen Wassermantels darstellen. Selbst wenn das flache Behringsmeer landfest werden sollte, so würden sich doch die Fluten des circumpolaren Eismeeres mit den antarktischen Gewässern mischen können.

Drei wichtige Thatsachen sind die Folgen dieses ungetrennten Ozeans: erstens die einheitliche chemische Zusammensetzung seines Wassers, zweitens seine einheitliche Fauna, drittens der übereinstimmende Charakter der leitenden Sedimente. Trotzdem das Meereswasser an den Küsten von Grönland unter ganz anderen klimatischen Bedingungen steht, wie die Fluten des Indischen Ozeans, obwohl Flüsse und Küstengesteine überall chemische Verbindungen von wechselndem Charakter dem Meere zuführen, ist doch vom Pol bis zum Aequator und vom Litoral bis zur Tiefsee das relative Verhältnis der Elemente im Seewasser überall annähernd das gleiche. Wenn auch neuere Untersuchungen mit feineren Methoden gewisse Unterschiede erkennen lassen, so bleibt doch das Resultat der Forchhammer'schen Arbeiten über die einheitliche Zusammensetzung des Seewassers bestehen.

Die Einheit der Meeresfauna fällt wegen der ungeheuren Mannigfaltigkeit der marinen Existenzbedingungen weniger in die Augen. Wenn man erwägt, wie sehr sich die blaue Oberfläche von den lichtlosen Tiefen des Meeres unterscheidet, wie verschiedenartige Temperaturen und bionomische Umstände überall herrschen, so muss es umso wichtiger erscheinen, dass der Challenger 65 Arten von Meerestieren innerhalb, sowie nördlich und südlich der Wendekreise fand; davon sind 18 Arten planktonisch, die übrigen gehören dem bodenbewohnenden Benthos an. Viel grösser ist die Zahl der innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen auf die weitesten Distanzen verbreiteten Arten. Ich brauche nur an das Plankton der Globigerinen und die benthonische Fauna der Korallenriffe zu erinnern. So verknüpft eine vielfach gleichartige Fauna die kalten

Wasser des arktischen Litorals mit den ebenso kalten Gewässern der atlantischen Tiefsee, und die vielbesprochene Thatsache, dass nahezu identische Arten im nördlichen und im südlichen Eismeer leben, beweist abermals, dass selbst die grössten Entfernungen die Ansiedlung einer kosmopolitischen Fauna nicht hindern.

Die Abhängigkeit mariner Sedimente von chemischen oder biologischen Ursachen ist eine bekannte Thatsache. Aus den chemischen Lösungen des Seewassers ergeben sich die chemischen Niederschläge, aus der Organismenwelt die Charaktere organischer Ablagerungen. Und so haben die Untersuchungen von Murray und Renard über die lithologische Beschaffenheit der recenten marinen Sedimente das bemerkenswerte Resultat ergeben, dass nur wenige, ganz scharf zu charakterisierende Arten von Ablagerungen am Boden des heutigen Weltmeeres gebildet werden. Die universelle Verbreitung des Globigerinenschlickes, des roten Tiefseethones und des Kontinentalschlammes über ungeheuere Räume findet ihre Ergänzung in der Erkenntnis, dass selbst die Bildung von Mangankonkretionen und Glaukonitsanden an ganz verschiedenen Stellen des Ozeans unter denselben Umständen erfolgt und dieselben Folgen zeigt.

Was uns so die Gegenwart bietet, das tritt uns nicht minder gesetzmässig in der geologischen Vergangenheit entgegen. Leitende Fossilien und leitende Gesteine charakterisieren einzelne Zeitabschnitte mit überraschender Gleichartigkeit, und das geübte Auge des Geologen erkennt an kleinen Merkmalen das Alter einer Fauna ebenso leicht, wie das Alter gleichzeitig gebildeter Gesteine. Wären nicht diagenetische und metamorphische Prozesse thätig, die Gesteine nachträglich in verschiedenartiger Weise zu verändern, zu verkitten, mit chemischen Lösungen zu imprägnieren, zu schiefern und zu zerklüften, so würde die Gleichartigkeit gleichaltriger Sedimente viel mehr in die Augen springen. Wir können daraus mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass auch in jeder Epoche der geologischen Vorzeit jedesmal ein einheitliches Weltmeer den Erdball umspannte, dessen Masse eine ähnliche Uebereinstimmung der chemischen Konstitution zeigte, wie das Seewasser der Gegenwart.

Es erhebt sich nun weiter noch die Frage, ob diese aufeinanderfolgenden Weltmeere der verschiedenen geologischen Perioden sich auch zeitlich zu einem einzigen ewigen Ozean aneinanderreihen, ob die Fauna des Weltmeers sich monophyletisch entwickelte oder ob jemals die Kontinuität des Meereslebens unterbrochen wurde? — Indem man cambrische und recente Echinodermen in demselben Stammbaum vereinigt, indem man eine silurische Muschel Arca oder Nucula nennt, beantwortet man diese Frage mit einem unbedingten Ja, und seitdem A. G. Werner die Grundlagen der neptunistischen Geologie schuf, hat man wohl immer an dem Gedanken festgehalten, dass das heutige Weltmeer im ganzen genommen ein direkter Nachkomme des Urozeans sei.

Zwar hat das Weltmeer beständig seinen Platz auf der Erdkugel verschoben und gewechselt. Mit dem oscillierenden und transgredierenden Ozean, über sinkende Erdschollen oder gehobene Krustenstücke hinweg wanderte die Strand-

linie und mit ihr die reiche Tierwelt der Salzflut. Aber immer war es eigentlich dasselbe Meer und dieselbe Tierwelt, die aktiv und passiv so ruhelos wanderten und über die Erde hinwegschritten.

Grundverschieden waren die Geschicke der Festländer im Laufe der geologischen Vergangenheit. Das Festland der Gegenwart ist nicht einheitlich. Grosse isolierte Kontinente und kleine Inseln sind der weiten Wasserfläche eingefügt, und die Verbreitung der Landpflanzen und Landtiere zeigt demgemäss viel grössere Differenzierung und Trennung. Keine Landpflanze hat auch nur entfernt eine so ungeheuere Verbreitung wie planktonische Meeresdiatomeen, oder benthonische Seegräser, kein Tier des Festlandes, abgesehen von flatternden Fledermäusen, domestizierten Hunden oder durch Schiffe verschleppten Ratten ist auch nur annähernd über so weite Flächen verbreitet, wie die Globigerinen, oder gewisse Madreporiden. Mit kleinen Anfängen beginnt das Festland im Silur besiedelt zu werden, auf grösseren Flächen entfaltet sich eine reiche Formenmannigfaltigkeit, und plötzlich wird die permische Fauna der südafrikanischen Theromorphen, der jurassischen und cretaceischen Riesenreptilien in Nordamerika jedesmal vernichtet, wenn das Weltmeer erobernd über das Festland hinwegschreitet. Und wenn wir die Entwicklung der Säugetiere betrachten, dann lässt sich deutlich erkennen, wie ihre Formenfülle in dem Maasse zunimmt, als sich die grossen Festlandsmassen der Tertiärformation herausbilden.

Dieser grundsätzliche Gegensatz in der Geschichte des Weltmeeres gegenüber den Geschicken einzelner Festländer prägt sich geologisch in der Schwierigkeit aus, festländische und marine Ablagerungen zu vergleichen, gleichalterige Zonen abzugliedern und räumlich von einander entfernte Ablagerungen chronologisch zu bestimmen.

Eine eigentümliche Verbindung mariner und festländischer, lithogenetischer und tiergeographischer Bedingungen zeigen uns die Wüsten der Gegenwart. Obwohl sie dem Festland angehören, wetteifern sie doch mit dem marinen Delta an Intensität in der Bildung klastischer Gesteine. Obwohl sie keine dauernde Kommunikation mit dem Weltmeer haben, enthalten sie doch riesige salzreiche Wasserbecken, in deren Fluten eine zwar artenarme, aber dafür umso individuenreichere Fauna lebt. Durchzügler und Einwanderer aus benachbarten marinen oder festländischen Lebensbezirken dringen gelegentlich in die leblose Wüste hinein und hinterlassen rätselhafte Spuren, die mitten in den fossilleeren Sedimenten sprungweise auftreten und plötzlich verschwinden. Selbst die Pflanzenwelt, welche die lebensfeindliche Wüste ängstlich meidet, kann durch eine Regenperiode weit hineingetragen werden, und wie durch Zauberkraft können blühende Oasen aus dem Boden steigen.

Fast jeder Punkt der Erdoberfläche war im Laufe der Erdgeschichte einmal Meeresgrund und dann wieder Festland. Das Schicksal des neugewonnenen Landes musste nun jedesmal ein ganz verschiedenes sein, je nachdem es unter die Herrschaft eines regenreichen, oder eines regenarmen Klimas

kam. Wenn ein Meeresboden zum Festland wird und ein regenreiches Klima seine atmosphärischen Niederschläge herabsendet, werden nicht nur alle noch vorhandenen Seewasserbecken ausgesüsst und die darin enthaltene Meeresfauna getötet, sondern auch die marinen Sedimente des trockengelegten Landes werden nach kurzer Zeit entsalzt und ausgewaschen. In wenigen Jahrzehnten ist der Boden geeignet für die Ansiedelung einer reichen festländischen Flora, eine Fülle von Landtieren finden ihre Nahrung, und die letzten Spuren des einstigen Meeres sind rasch verschwunden.

Grundsätzlich verschieden sind die Schicksale des neugewonnenen Landes, wenn dasselbe unter die Herrschaft eines regenarmen Wüstenklimas gerät. Die vom Meere verlassenen Flächen sind bedeckt mit salzigen Seen, in denen die Meeresfauna noch ruhig weiterlebt. Die gelegentlichen Regengüsse vermehren sogar den Salzgehalt dieser Wasserbecken, und ihre Fauna wird in seltsamer Weise verändert. Viele Formen sterben aus, andere euryhaline Tiere vermehren sich ins Ungemessene, und wie die Kongerien des sarmatischen Meeres, wie die Adacna und Verwandten des Aralocaspischen Binnensees, erfüllen sie in ungeheuerer Zahl ganze Schichtenserien. Aber viele Binnenseen werden bald unbewohnbar für eine dauernde Fauna. Entweder dass ihr Salzgehalt sich bis zur »Salzpfanne« steigert, oder dass durch die ungeheuere Masse der hineingeführten Sedimente ein »Trockensee« entsteht, der nur periodisch Wasser führt. In beiden Fällen sind es besonders Krustaceen, wie Apus oder Artemia, deren Dauerkeime eine lange Austrocknung vertragen oder durch Wandervögel und Wind leicht transportiert werden können, Fische, die im Stande sind, eine flache Wasserscheide zu überschreiten, oder Wassersäugetiere und Reptilien, die grössere Wanderungen unternehmen können — solche Formen siedeln sich immer wieder in den periodischen Trockenseen an, und ihre Ueberreste sind, vermischt mit seltenen Pflanzenteilen und vereinzelten Landtierspuren, die einzigen organischen Einschlüsse in binnenländischen Wüstengesteinen. Endlich haben sich die löslichen Salze zu Salzlagern konzentriert, äolische Thone haben dieselben hermetisch eingehüllt, und wenn jetzt wieder das Meer über das Wüstenland hinwegschreitet, begräbt es unter seinen Abrasionsprodukten die »versteinerte Wüste«.

Wir haben in den vorhergehenden Abschnitten eine möglichst exakte Schilderung der heutigen Wüste vom geologischen Standpunkt zu geben versucht; dem ontologischen Grundsatz getreu, dass nur eine sorgfältige und genaue Kenntnis recenter Erscheinungen die Probleme der Erdgeschichte lösen kann. Hierbei hat sich folgendes ergeben:

Die Wüsten der Gegenwart spielen eine bedeutsame und wesentliche Rolle in den irdischen Klimazonen. Durch Meer und Hochgebirge unterbrochen, durch den Ozean eingeengt, durch weite Kontinente verbreitert, bilden die Wüsten auf jeder Halbkugel einen deutlich erkennbaren Gürtel. Jede echte Wüste ist selbst abflusslos und steht in keiner dauernden hydrographischen Verbindung

mit dem Meere, wohl aber können sehr wasserreiche Flüsse ein grosses Wüstenland kreuzen. Dagegen gliedern sich bisweilen grosse Festlandsflächen, die selbst vegetationsreich sind, und deren Klima regenreich und kühl sein kann, hydrographisch einer Wüste an, und da alle lithogenetischen Prozesse in der benachbarten Wüste ein Ende erreichen, so gehören solche Länder geologisch zu den abflusslosen Gebieten. Dadurch greift das lithologische Problem der Wüste über die Grenzen derselben hinaus und die Region der Wüste erweitert sich zu den grossen Flächen des abflusslosen Landes. Der ganze klastische Verwitterungsschutt des umgebenden Landes und alle bei der Auflösung, Auslaugung und Zersetzung älterer Gesteine entstandenen Lösungen werden nach den zentralen Wüsten verfrachtet und müssen hier zur Ruhe kommen. Nur feiner Staub kann durch den Wind aus der Wüste herausgetragen werden und häuft sich unter dem Einfluss einer reicheren Vegetation als Löss in dem umgebenden Steppenlande an. So wird die Wüste ein Sammelbecken für neugebildete Gesteine. Riesige Konglomerate, mächtige Sandsteine, bunte Thone und Mergel, chemisch abgeschiedene Kalke, Gypse und Salze bedecken den Wüstenboden. Katastrophenartig stürzen Wolkenbrüche hernieder, Frost und Hitze wechseln in grellem Gegensatz, und in dem leblosen Gebiet finden ganze Legionen mariner Relikte und endemischer Bewohner, wandernder Durchzügler und verschlagener Irrgäste ihr Grab. Aber die Leblosigkeit der Wüste findet in der grossen Mehrzahl der Fälle sprechenden Ausdruck in dem Fossilmangel der Wüstengesteine, und der Mangel reduzierender Substanzen prägt sich in den hellen Oxydfarben der gebildeten Ablagerungen aus.

Besonders bemerkenswert ist es, welche unbegrenzte Mächtigkeit klastische und chemische Ablagerungen in den abflusslosen Gebieten erreichen können. Denn durch Wolkenbrüche, durch wandernde Sandmeere und windgetragene Staubmassen können tiefe Wannen bis zum Ueberlaufen mit Sedimenten angefüllt werden, ohne dass dieser Vorgang durch den jeweiligen Stand und die säkularen Bewegungen des Weltmeeres oder tektonische Rindenbewegungen der Lithosphäre irgendwie beeinflusst würde. Mag ein Kontinent durch Hebung emporgewölbt werden, mögen einzelne Teile desselben tief unter den Spiegel des Weltmeeres hinabgebogen werden, mag an seinen Küsten das Meer stabil bleiben oder ruhelos oscillieren — die inneren Vorgänge der Wüste werden davon nicht berührt. Solange die das abflusslose Gebiet umgebende Wasserscheide, mag sie auch noch so geringfügig sein, nicht angeschnitten wird, so lange bilden sich die Wüstensedimente in ruhelosem Facieswechsel übereinander. Riesige Mengen von Niederschlägen können die Binnenseen bis zum Rande anfüllen, ungeheuere Dürre kann sie völlig austrocknen, aber sie sind in ihren lithogenetischen Prozessen unabhängig von den erdgeschichtlichen Bewegungen des Meeres. Die klimatische Bilanz der Niederschläge gegen die Grösse der Verdunstung beherrscht die Lithogenesis einer abflusslosen Wüste.

Und wie sich die Grenzen des Meeres durch seltsame Bewegungen der Strandlinie verändert haben, so haben sich die Klimazonen auf der Erde verschoben, und langsam wanderte mit ihnen die Wüstenregion bald nach Norden, bald nach Süden. Nebenmeere nahm sie in ihr Reich auf, vegetationsreiche Länder verheerte sie wie eine Seuche. Indem sich so die Grenzen der Wüste verschieben, lagern sich die Sedimente von Regionen, die einander auszuschliessen scheinen, übereinander, und in dem Profil der Erdrinde finden wir auf marinen, fossilreichen Gesteinen fossilfreie Wüstensalze und auf Kohlenlagern buntgefärbte Sandsteine und Konglomerate ohne eine Spur von Pflanzenformen. Unsortiert, wie in einer Moräne, liegen grosse Felsblöcke mitten zwischen feinem Kies, Sand und Schlamm; entrindete Baumstämme sind dem Konglomerate eingefügt. Nur vereinzelt finden wir die thonigen Absätze grosser Binnenseen mit den Ueberresten einer seltsamen Fisch- und Amphibienfauna, oftmals auch nur die Fährten von Tieren, die uns keinen einzigen Knochen hinterlassen haben. Und dieselbe Wüste schafft eine weitausgedehnte Denudationsfläche, trägt ganze Gebirge ab und schichtet ihre Ablagerungen diskordant auf dem unebenen Felsenboden einer Deflationswüste auf. Keine marine Muschel finden wir in den groben Basaltkonglomeraten, kein Kalkbänkchen entstand durch die Anhäufung strandbewohnender Meerestiere. Weder die marine Abrasion, noch die marine Gesteinsbildung kann uns solche Profile erklären, und nur wenn wir die recenten Wüsten studieren, finden wir vergleichbare Prozesse.

Besonders wichtig aber wird das Problem der fossilen Wüsten für den Paläontologen. Verhüllen doch gerade die fossilleeren Schichten jene »Sprünge« in der Formationsreihe, welche die ruhige Entwickelung des organischen Lebens jäh unterbrachen. Hunderte von Metern sandiger und thoniger Schichten oder grober Konglomerate scheinen unter Umständen gebildet zu sein, die bestehendes Leben vernichteten und die Ansiedelung neuer Lebensformen unmöglich machten, und so hat man von Katastrophen gesprochen, die den ruhigen Gang der Erdgeschichte plötzlich unterbrochen haben. Wenn wir auch niemals die alte Kataklysmenlehre wieder aufleben lassen wollen, so konnten wir doch zeigen, dass die lithogenetischen Vorgänge innerhalb der abflusslosen Gebiete oft unter Umständen erfolgen, die einen katastrophenartigen Charakter besitzen. Und wenn es gelingen sollte, manche fossilen Ablagerungen als die Wirkungen solcher Katastrophen zu betrachten, die in den gleichaltrigen marinen Sedimenten keine Spuren hinterlassen haben, wenn man erkennen wird, das viele »Strandbildungen« und »Absätze grosser Binnenseen« in abflusslosen Gebieten entstanden sind, dann wird das Bild der Erdgeschichte wohl mannigfaltiger erscheinen, aber nirgends werden wir Kräfte anzunehmen haben, die der heutigen Erde fremd sind, und die Erscheinungen der leblosen Wüste werden zum Führer in den fossilleeren Sedimentgesteinen der Erdrinde.

Sach- und Namen-Register.

Sach- und Namen-Register.

Fl. = Fluss. Geb. = Gebirge. O. = Oase. U. = Uadi.

A.

G.

H.

Einige Druckfehler des Textes sind im Register korrigiert worden.

Druck von Trowitzsch & Sohn, Berlin SW.